معهد الانماء العربي

النظائر المشعة
وبرنامج الاشعاع للدول العربية

د. ش. فاليه

١٩٨٢

التكنولوجيا النووية في البلدان النامية ٤

النظائر المشعة
وبرنامج الاشعاع للدول العربية

معهد الإنماء العربي

النظائر المشعة
وبرنامج الإشعاع للدول العربية

تأليف : د. ش. فاليه
ترجمة : د. سمير الباز
المراجعة العلمية : د. صلاح الدين حشيش

الجماهيرية العربية الليبية الشعبية الاشتراكية
طرابلس ـ ١٩٨٠ .

سلسلة كتب «التكنولوجيا النووية في البلدان النامية»

تصدر عن:

معهد الانماء العربي، برنامج العلم والتكنولوجيا
بيروت ـ لبنان

الطبعة الاولى بيروت ١٩٨٢

المحتويات

المقـــدمـــة

يمكن الحصول على النظائر المشعة بوسائل عدة ،منهاتعريض أهداف مناسبة لقذائف جسيمية مختلفة مثل النيوترونات في المفاعلات النووية ، أو بجسيمات مشحونة في المعجلات . كما توجد طرق أخرى للحصول على النظائر المشعة وذلك عن طريق استخلاصها من المواد المشعة طبيعياً والموجودة أصلا في الطبيعة ، أو من المواد الانشطارية للوقود النووي .

يوجد اليوم أكثر من ٢٠٠ نظير مشع شائعةالاستخدام ،ولكن هناك فقط عدداً يتراوح ما بين ٢٠ ـ ٢٥ نظير مشع يمثل أكثر من ٩٥٪ من التطبيقات . وتنتج هذه النظائر صناعياً في المفاعلات النووية أو المعجلات . وهي تستخدم في صور كيميائية عديدة كمقتفيات كما يمكن احتواؤها في مصادر اشعاعية مغلفة . ويستفاد من الاشعاع المنبعث من تلك المصادر الاشعاعية في بحوث الفيزياء ، والكيمياء ، وعلوم الحياة ، وللأغراض العلاجية في المجال الطبي ، وكذلك في دراسات تأثير الجرعات الاشعاعية العالية على المادة وخاصة في مجالات البلمرة وحفظ الأغذية والتعقيم الجامي .

الباب الأول ـ عام

الاهتمامات الحالية واتجاهات المستقبل

١ ـ ١ انتاج النظائر المشعة

خلال عديد من السنين (٢٠ عاماً) فان كل من يملك مفاعلا ذرياً قد طور انتاج العديد من النظائر المشعة ذات عمر قصير والتي لها مقطع عرضي cross section كاف. وتعتمد كمية النشاط الاشعاعي الكلي على معدل الفيض النيوتروني الحراري الفعال وعلى طول فترة التشعيع. وقد وضعت بعض الحدود في الاعتبار فيما يتعلق بالنشاط الاشعاعي الكلي وكذا طاقة الاشعاعات المنبعثة.

معظم النظائر المشعة الشائعة الاستخدام هي الصوديوم٢٤، البوتاسيوم٤٢، الكبريت٣٥، الفوسفور٣٢، اليود١٣١، الحديد٥٩، الاسترونشيوم٨٥، الكالسيوم٤٥، والكروم٥١. ويعتبر الطب النووي هو المجال الرئيسي لتطبيقات تلك النظائر المشعة يليه بعد ذلك ببعيد التطبيقات الصناعية. ومن أجل ذلك يمكن تقسيم مركبات النظائر المشعة الى أربع مجموعات مختلفة هي:

- مجموعة المستحضرات الصيدلية المشعة.
- مجموعة المركبات المرقمة labelled للدراسات.
- مجموعة النظائر المشعة للدراسات الاقتفائية tracers في الدراسات الصناعية.

- مصادر اشعاعية .

كما أن نمو وتقدم مجال الطب النووي قد أدى الى تغييرات في الطلب على النظائر المشعة خلال السنوات العشر الماضية . أولا ، فإن التطبيقات الخاصة بالمستحضرات الصيدلية قد اضطرت المنتجين الى أن يكون تعريف وتحديد المركب المنتج مصحوباً بمراقبة الجودة وضمانات السلامة مما دفع عديداً من المنتجين الى اقتصار الكتالوج الخاص بمنتجاتهم على عدد من المنتجات الأكثر استخداماً .

ولقد اضطر تباين القوانين المختلفة في البلدان المختلفة صغار المنتجين أن يعملوا وأن يقصروا انتاجهم على بلدهم فقط أو أن تتوحد جهود عدد من البلدان المتجاورة وتستخدم امكانياتها المشتركة من وسائل الانتاج من أجهزة ومعدات أو عن طريق شراء كميات أو طلبيات أكبر من المواد المشعة بسعر تكلفة أقل . أما التوزيع المحلي الخاص بتلك المواد المشعة فيمكن تنظيمه متضمناً مراعاة قواعد ولوائح مراقبة الجودة .

ان توفر أحدث أنظمة عرض وترتيب نتائج البحوث النووية ذات المستوى الرفيع وكذا التطور الدائم في أجهزة اتمام القياسات قد أدخل تعديلات كثيرة على سوق المنتجات الطبية النووية . ومن أجل تقليل الجرعات الاشعاعية التي يتعرض لها المرضى المعالجون ، وأيضا من أجل الحصول على أفضل النتائج والمعلومات بواسطة زيادة معدل العد الاشعاعي - فان النظائر المشعة ذات العمر القصير والتي تنبعث منها اشعاعات جاما ، تتراوح طاقتها بين ١٠٠ - ٢٥٠ كيلو الكترون فولت قد تطور انتاجها أكثر فأكثر . وحالياً يعتبر نظير التكنيسيوم m٩٩ * من أكثر النظائر المشعة استخداماً في مجال الطب النووي التشخيصي وذلك في صورة بيرتكنيتات pertechnetate أو على هيئة مركبات مرقمة عديدة .

---

* m = meta stable (شبه مستقر)

وللأغراض الطبية فان هناك ما يقرب من ٣٠ نظيراً مشعاً مختلفاً يتم انتاجها بواسطة المفاعل النووي. كما أن هناك أكثر من ٥٠ مركباً مرقماً labelled compounds قد تم تحضيرها، الا أن المركبات المرقمة بالتكنيسوم فقط (حوالي ١٢ مركباً شائعة الاستخدام) هي التي تمثل أكثر من حوالي ٧٥٪ من الدراسات والقياسات الحياتية in vivo assays في مجال الطب التشخيصي.

وفي المستقبل فان انتاج المولدات generators بالنظائر المشعة المنتجة سواء في المفاعلات النووية أو المعجلات (بصفة عامة السيكلوترونات) سوف تلبي الاحتياجات الطبية. ويمكن التكهن بأن إنتاج النظائر المشعة ذات العمر القصير جداً بواسطة السيكلوترون سوف يتطور وينمو وأن تلك النظائر سوف تستخدم للمرضى الموجودين داخل نفس المبنى. كما ستستخدم لانتاج المستحضرات الصيدلية المشعة radiopharmaceuticals والتي يمكن توزيعها داخل نطاق منطقة جغرافية محدودة حيث يتوقف ذلك على فترة عمر النصف للنظير المشع وعلى وسائل النقل المتيسرة لنقل المركب المنتج.

ويشير الاتجاه الحالي والمستقبلي للبلدان المتقدمة مثل الولايات المتحدة وكندا والبلدان الأوروبية واليابان الى أنهم قد أضافوا ـ بجانب الطريقة التقليدية في انتاج النظائر باستخدام المفاعلات النووية ـ استراتيجية الانتاج بواسطة السيكلوترون، وذلك اما باستخدام سيكلوترون لغرض البحث أو بشراء سيكلوترون لهدف الانتاج فقط. والنظائر المشعة ذات العمر القصير والشائعة الانتاج هي الثاليوم٢٠١، اليود١٢٣، الانديوم١١١، الكريبتون٨١m، الاسترنشيوم٨٧m، والجاليوم٦٧، والحديد١٨، وحديثاً فان انتاج المركبات المرقمة بنظيري كل من اليود١٢٣، والجاليوم٦٧ يخصصان لأغراض الطب النووي.

وفي مجال استخدام تقنيات النظائر المشعة في الصناعة، فإن استخدام

عمر النصف الملائم وكذا الاحتياج العام لتحضير مصادر اشعاعية مغلفة sealed ؛ كل ذلك قد حدد من عدد النظائر المشعة التي تصلح لهذا الغرض ولهذا تركز انتاج تلك المصادر الاشعاعية على وسيلة الانتاج بواسطة تشعيع الأهداف في المفاعل النووي . هذا بالاضافة الى محددات (معايير) القياسات الاشعاعية radioisotope gauges وكذا اجراء التحليل والقياسات في المعامل باستخدام المصادر المشعة والمبنية على تقنيات الأشعة السينية وأجهزة الكشف الاشعاعي قد اتسع نطاقها وازداد انتشارها أكثر فأكثر .

١ ـ ٢ استخدامات النظائر المشعة

١ ـ ٢ ـ ١ في مجال الطب النووي :

مما لا شك فيه اننا بحاجة الى مناقشة تطور مجال الطب النووي والذي يعتبر بحق المجال الذي استحوذ على أكبر الاهتمامات في مجالات تطبيقات النظائر المشعة ، حيث تخصص كل دولة جزءاً كبيراً من دخلها القومي للخدمات الصحية .

وقد وصل متوسط معدل النمو السنوي في البلدان المتقدمة خلال العشر سنوات الماضية الى ٢٥٪ . كما بلغت المبيعات الكلية من تجارة المنتجات الطبية النووية في الولايات المتحدة عام ١٩٧٧ ما قيمته ٢٩٧ مليون دولار أمريكي . وفي البلدان الأوروبية فقد كان معدل النمو في مجال الطب النووي يماثل نفس المعدل بالنسبة للولايات المتحدة الأمريكية وتحقيق مثل هذا المعدل للنمو في البلدان النامية يعتبر أكثر ضرورة وأهمية بالرغم من نقص وسائل الانتاج الخاصة بتلك الدول .

هذا ويتأثر التطور المستقبلي لقطاع الطب النووي في كل من البلدان المتقدمة والبلدان النامية بعدة عوامل مختلفة سوف تؤثر بدورها على الطلب الخاص بمنتجات الطب النووي .

وتنقسم تلك العوامل الى عوامل ايجابية وعوامل سلبية ، أما العوامل الايجابية (المشجعة) فهي :

- زيادة عدد أقسام الطب النووي الجديدة .

- زيادة عدد الأطباء المؤهلين في مجال الطب النووي .

- التأكيد المتزايد على استخدام التقنيات غير الجراحية وخاصة في مجال طب القلب .

- توفر مستحضرات صيدلية مشعة جديدة radiopharmaceuticals وبصفة خاصة تزايد المستحضرات الصيدلية المشعة ذات الأعمار القصيرة .

- تزايد استخدام تقنيات الحاسب الآلي في مجال الطب النووي على نطاق واسع .

- توفر طرق جديدة للاختبارات والكشف الاشعاعي وخاصة في مجال أمراض المجتمع مثل (التشوهات الخلقية في أمراض القلب - السرطان - القصور الوظيفي في الأطفال حديثي الولادة) .

أما فيما يتعلق بالعوامل السلبية (المثبطة) فهي :

- تزايد التنظيمات والقوانين الصناعية .

- تزايد تكاليف برامج المستشفيات .

- ازدياد التكاليف الخاصة بالتجهيزات والمعدات اللازمة لأقسام الطب النووي .

- تزايد وتقدم الوسائل التشخيصية الأخرى المنافسة مثل تصوير الطبقات النسيجية بالأشعة أو الموجات فوق الصوتية باستخدام الحاسب الآلي .

- تطور الوسائل التشخيصية الأخرى المنافسة (غير المشعة) والتي تتم في أنظمة الدراسات المعملية (غير الحياتية) .

- تطور واكتشاف معدات وأجهزة جديدة في مجال العلاج الاشعاعي .

وبصفة عامة فان العوامل الايجابية تفوق العوامل السلبية في هذا المجال ، ومن ثم يتوقع أن تحرز سوق منتجات الطب النووي في البلدان المتقدمة معدلاً سنوياً في السنوات العشر القادمة بمقدار يتراوح ما بين ٨ - ١٠٪ .

والميزة الكبيرة للدول النامية انها تكون في وضع يمكنها من اختيار انسب طريقة لتشييد نظام للطب النووي عند بنائها لمستشفياتها الوطنية (المركزية) .

ومن خلال الاعتماد على مستوى أكثر مركزية في اتخاذ القرار ، يمكن تجنب الكثير من أوجه الانفاق غير المرشد مثل تلك التي تضع في اعتبارها مبدأ الربح الاقتصادي في المقام الأول . ولا يوصى باستخدام المستحضرات الصيدلية المشعة على نطاق واسع في أقسام الطب النووي الصغيرة بغرض الحصول على كفاءة علمية وتقنية أو لغرض بناء الكوادر العلمية المتخصصة أو لغرض خفض تكلفة تكوين فريق الطب النووي المتخصص في هذا المجال .

أما بالنسبة لأقسام الطب النووي المركزية ففي استطاعتها أن تساير وسائل التقدم التقني الحديث والتجهيزات العلمية ذات التكاليف الكبيرة اللازمة لاستخدام المستحضرات الصيدلية المشعة ذات فترات عمر النصف القصير . كما تتطلع تلك الأقسام الكبيرة في أن يكون لديها سيكلوترون طبي صغير خاص بها وأن تشارك في تطوير نظام التصوير البوزتروني في السنوات المقبلة .

١ - ٢ - ٢ استخدامات النظائر المشعة في الأبحاث

تعتبر النظائر المشعة من أكثر الوسائل ملاءمة للدراسات الاستشفافية أو الاقتفائية tracer studies في مجالات البيولوجيا والكيمياء الحيوية والطبيعية والجيوفيزياء ،والجيولوجيا وعدد آخر من فروع العلوم والتقنية ، وبصفة عامة فان الدراسات الأساسية تحتاج الى نظير معين ويجب أن يكون معلوماً لدينا عملية تكوينه أي تخليقه قبل استخدامه - كثير من المعامل

الكيميائية تقوم بنفسها بتركيب (تخليق) مركباتها المشعة الاقتفائية tracer ولكن هناك بعض معامل الكيمياء الاشعاعية الهامة التي تستطيع أن تقدم الامكانيات لتركيب وتخليق مثل تلك المركبات بأسعار رخيصة. وبسبب الهدف الخاص لكل بحث ومن أجل تحقيق هدف معين، فان كل حالة تشير الى مشكلة معينة مما يجعل امكانية بناء معمل من أجل هذا الهدف فقط، يعتبر نوعاً من المخاطرة المكلفة اقتصادياً.

وفي الماضي كانت مصانع المستحضرات الصيدلية تستخدم الترقيم بالنظائر المشعة في بحوث ودراسات العلاج بالأدوية وذلك بغرض دراسة تأثيراته المحتملة كمركب دوائي جديد على كل من الحيوانات والانسان. أما الآن فانه يوصى باستخدام الترقيم بالنظائر الثابتة المثراة enriched stable isotopes في مجالات الاستخدامات الانسانية، ثم يجري كشف وقياس تلك النظائر الثابتة باستخدام جهاز مطياف الكتلة mass spectrometer.

ومن أجل كل تلك الأسباب المختلفة فليس من الضروري أن يكون لكل بلد معمل كيمياء اشعاعية خاص بها ووسائل التخلص من الفضلات its disposal، ويكتفي عند الضرورة بتوفير خبير كيميائي يقوم بدراسة الترقيم الخاص بالمركبات أو يكون بوسعه الحصول على الترقيم الجزئي أو الكلي لمركباته من أحد المعامل العامة الكبيرة المختصة في هذا الشأن.

١ ـ ٢ ـ ٣ استخدامات النظائر المشعة في الصناعة

استخدم التصوير الاشعاعي بأشعة جاما على نطاق واسع في الفروع المختلفة للصناعة وهناك أربعة نظائر مشعة شائعة الاستخدام في هذا المجال وهي: الكوبلت٦٠ والسيزيوم١٣٧، والاريديوم١٩٢، والثاليوم١٧٠. ويستخدم نظير الاريديوم١٩٢ عادة في التصوير الاشعاعي لخطوط الأنابيب. ولكي نستطيع الحصول على صور اشعاعية واضحة ودقيقة فانه يجب تركيز المادة المشعة المستخدمة في المصدر الاشعاعي في أصغر حجم ممكن. وبوسع المفاعلات الذرية

التي تتميز بفيض (معدل تدفق) عال من النيوترونات الحرارية (والتي تفوق قيمتها ٢ × $١٠^{١٤}$ نيوترون/$سم^{-٢}$/ $ث^{-١}$)أن تنتج مواداً مشعة (نظائر مشعة) ذات نشاط اشعاعي نوعي عالٍ جداً specific activity . أما التقدم العلمي الثاني الذي أحرز في هذا المجال ، فهو انقاص أوزان الأواني الحاوية ذات الحواجز الواقية shielding containers بواسطة ادخال مادة اليورانيوم المعدنية metallic uranium في تكوين الغلاف الخارجي لمادة الاناء الحاوي والتي تصنع من سبيكة صلب ذات مقدرة عالية على مقاومة عوامل التآكل أو الصدأ .

وتستخدم الآن في المجال الصناعي على نطاق واسع الطرق الاشعاعية المبنية على قياس الطيف لتفلور الأشعة السينية X-fluorescence spectroscopy وكذلك القياسات المبنية على التحليل بالتنشيط الاشعاعي activation analysis ، ومثال على استخدام النظائر المشعة في مصانع الالومنيوم كوسيلة من وسائل مراقبة الانتاج كذلك الحال في مصانع الصلب والمنتجات غير الحديدية،فان النظائر المشعة قد استخدمت في ذلك المجال لدراسة معدل حركة المواد بواسطة أنظمة الرفع والحركة وفي عملية تصفية المصهور وتجهيز السبائك .

وفي الصناعة يزداد الاتجاه لاستخدام هذه التقنيات في خطوط الانتاج .

ولقد اتسع مجال التطبيقات العملية للنظائر المشعة بفضل تطور كل من تقنيات انتاج النظائر المشعة والأشعة السينية (أشعة اكس) وأجهزة الكشف والقياس الاشعاعي وتطور طرق تحليل وقياس النيوترونات واشعاعات جاما .

ومثل كل البحوث أو الدراسات الأساسية فان كل مشكلة في مجال الانتاج الصناعي يجب أن تدرس وتوضع لها الحلول من قبل فريق خاص يضم عناصر لديها الخبرة في كل من المجال الصناعي المختص بتلك المشكلة ولديه أيضاً الخبرة باستخدام النظائر المشعة .

١ ـ ٣ بحوث الاشعاع والتطبيقات العملية:

تختص الكيمياء الاشعاعية بدراسة التفاعلات الكيميائية التي تنتج بواسطة الاشعاعات ذات الطاقة العالية. ان تزايد عدد البحوث المنشورة او المؤلفات العلمية منذ عام ١٩٦٠ توضح مدى أهمية دراسة تأثير الاشعاع على المادة. وقد استخدم الاشعاع النووي في مجالات التعقيم، والحفظ (للأغذية)، واحداث التفاعلات الكيميائية، أو تفاعلات امداد الطاقة لأي نظام.

وأهم مجال للتشعيع الصناعي هو تعقيم المنتجات الصناعية بواسطة الاشعاع مثل: أدوات المستشفيات أحادية الاستعمال والتي تصنع عادة من البلاستيك، وخيوط الجراحة، ومعدات الحقن تحت الجلد، والقسطرة، وقفازات الجراحة. وبنفس درجة أهمية مجال تعقيم الأدوات الطبية باستخدام الاشعاع فان المصادر الاشعاعية الكبيرة والتي تنوعت في أشكالها وقدراتها قد أتاحت الفرصة الى ظهور وتطور مجالات تطبيقية أخرى للاشعاع في شتى المجالات. ولقد اتخذ استخدام الاشعاعات المؤينة في مجال معالجة الاغذية ثلاثة اتجاهات رئيسية:

أ ـ تعقيم منتجات الأغذية وخاصة تلك المعبأة لفترة طويلة بعيداً عن مخازن التبريد مثل: اللحوم المحفوظة ـ لحم الدجاج ـ منتجات اللحوم ـ غذاء حيوانات التجارب بهدف انتاج حيوانات تجارب خالية من مرض معين. والجرعات المستخدمة لهذا الغرض تتراوح قيمتها بين ١ ـ ٥ مليون راد.

ب ـ جرعات اشعاعية تحت تعقيمية sub-sterilization للحفاظ على المحتويات الحيوية للأطعمة الطازجة وكذا لاطالة فترة التسويق لتلك الأصناف والجرعة الخاصة بهذا الغرض تتراوح قيمتها ما بين (٠ر٤ ـ ٠ر١) مليون راد، اما جرعات الاشعاعات اللازمة للتخلص من الكائنات الدقيقة المسببة للأمراض (ما عدا الفيرس) فتتراوح قيمتها

ما بين (٢ر٠ - ٨ر٠) مليون راد، مثل الدودة الشريطية في اللحوم.

ج - جرعات اشعاعية عالية لاطالة فترة التثبيط لظاهرة التزريع sprout في محاصيل الخضر مثل البصل والبطاطس لاطالة فترة تواجد المحصول على مدار السنة ما بين فترة المحصول القديم وحصاد المحصول الجديد. والجرعات المستخدمة لهذا الغرض تتراوح قيمتها ما بين ٢ - ١٥ مليون راد.

وكمثال حديث لمدى تطور وتزايد هذه التطبيقات فقد استخدم الاشعاع في تعقيم علب البلاستيك المخصصة لتعبئة الألبان وكذا علب الجبن والزبد في كثير من بلدان العالم المختلفة لاطالة فترة تخزين تلك الأطعمة. وفي نفس الاتجاه ولتحقيق نفس الغرض لحفظ الأغذية ،فان تطبيقات الاشعاع في المجال الزراعي قد اتسع نطاقها أكثر فأكثر وشملت بصفة خاصة المجالات التالية:

- معاملات تطهير من الآفات والحشرات باستخدام جرعات اشعاعية من ٣٠ - ١٠٠ كيلوراد (المحاصيل الحبوب - الفاكهة المجففة - التوابل).

- تربية المحاصيل باستحداث طفرات وراثية جديدة باستخدام الاشعاع.

وبجانب استخدام الاشعاع في تعقيم أدوات المستشفيات من منتجات البلاستيك احادية الاستعمال (أي تستخدم لمرة واحدة فقط) وكذا مجال حفظ الأغذية، فان الطلب يتزايد أكثر فأكثر على استخدام التشعيع في مجال مستحضرات التجميل للتقليل من التلوث البكتيري الى أقل حد ممكن. كذلك فان مجال صناعة الأدوية يعتبر أحد المجالات الحيوية ذات الاهتمام الخاص باستخدام التشعيع لغرض التعقيم لبعض الأدوية الخاصة التي لا تلائمها معاملات التسخين أو المعاملة الكيميائية بأكسيد الاثيلين لغرض التعقيم.

ويعتبر تزايد تطبيقات الاشعاع النووي في مجال الصناعات الكيميائية هو أحد الاستخدامات الأخرى الهامة، ومعظم تأثيرات الاشعاع في مجال

الصناعات الكيميائية يمكن حصرها فيما يلي :

١ - تكوين الروابط العبورية cross linking (كما هو الحال في صناعات البولي اثيلين وصناعة المطاط) .

٢ - عمليات البلمرة polymerization (كما هو الحال في مركبات الاستيارين - والميثايل ميثاكريلات - سينيل خلات - نتريت الاكريل) .

٣ - اعادة تكوين المركبات الحلقية recycling مثل (مركبات بولي تترافلورو اثيلين) .

٤ - عمليات الفلكنة (تقسية المطاط) vulcanization .

٥ - عمليات نقل الأجزاء grafting .

وتشير اتجاهات المستقبل الى ازدياد التوسع في التطبيقات الصناعية للاشعاع النووي في السنوات القادمة .

وتتركز الاستخدامات الطبية للاشعاعات ذات الطاقة العالية في مجال العلاج الاشعاعي teletherapy ويعتبر استخدام وحدات الكوبلت المشع ٦٠ أحد الوسائل الهامة التي يتسلح بها الانسان في كفاحه ضد السرطان . ولكن في البلدان المتقدمة ، بدأت المعجلات الطبية تحل محل العلاج بالكوبلت المشع . وبرغم الانحسار التدريجي في استخدام آلات الكوبلت المشع على نطاق واسع في البلدان النامية وكذلك في عديد من العيادات العلاجية الصغيرة في بلدان العالم الصناعي ،فان استخدام وحدات مبسطة من الكوبلت المشع ٦٠ سوف يستمر في النواحي العلاجية .

الباب الثاني

امكانية (تسهيلات) الانتاج واحتياجاته

Production Facilities and Needings

ملحوظة : البيانات المذكورة في هذا الباب هي نتاج معلومات جمعت خلال زيارة قام بها المؤلف في ابريل عام ١٩٧٨ الى مدينة طرابلس بالجماهيرية العربية الليبية استمرت أربعة أيام وكذلك من خلال النقاش على مدى يومين مع الاستاذ الدكتور محمد عزت عبدالعزيز رئيس فريق التقنية النووية في معهد الانماء العربي بطرابلس - بالجماهيرية الليبية.

٢ - ١ الامكانيات الانتاجية في ليبيا

٢ - ١ - ١ المفاعل النووي والامكانيات التشعيعية:

يعتبر المفاعل النووي الليبي مفاعل أبحاث من نوع ذي البركة قوته ١٠ ميجاوات والخصائص الرئيسية لهذا المفاعل هي :

الصفة	القيمة
القوة	١٠ ميجاوات
يورانيوم٢٣٥ في قلب المفاعل	٢ر٥ كيلوجرام
نسبة الوفرة (التثرية) باليورانيوم٢٣٥	٨٠٪
عمق بركة المفاعل	٩ر٦ متر
بركة التخزين : قطر	٣ر٥ متر

بركة التخزين : عمق	٦ر٩ متر
عاكس البريليوم	-
القيمة العظمى للفيض النيوتروني	$١٠^{١٤}$ نيوترون/سم$^{-٢}$/ث$^{-١}$

النيوترونات الحرارية (طاقة ٦٢٥ر٠ الكترون فولت)

: في قلب المفاعل	٢
: في العاكس	٢ر٢
القيمة العظمى للفيض الحراري	١٣٩٠ كيلووات/م^{٢}

(جزء من الطاقة ينساب الى عناصر الوقود).

ومما تجدر ملاحظته أن المعلومات الدقيقة عن امكانيات وتسهيلات التشعيع لم يشر اليها في الخصائص المذكورة ،ومن ثم فانه يجب علينا أن نقدر أن تشعيع الأهداف يمكن أن يتم باستخدام قنوات رأسية في قلب المفاعل وبفيض نيوتروني يصل الى ٢ر٢ × $١٠^{١٤}$ نيوترون/سم$^{-٢}$/ث$^{-١}$.

وعملية نقل المواد المشعة من القنوات الرأسية تتم عبر قناة مائلة (منحدرة) تربط ما بين بركة المفاعل والمخزن والخلايا الحارة hot cell بواسطة إناء حاوي دوار. وفي الخلية الحارة فان الأهداف المشعة تحمل في أواني حاوية للنقل transfer containers لكي تتم معاملتها في معمل الكيمياء الاشعاعية.

لم تُعطَ أية معلومات تتعلق بوقت تشغيل المفاعل المذكور. وبزيادة عدد عناصر الوقود في قلب المفاعل الى ١٦ عنصر وقود ، فان قوة المفاعل سوف تتزايد حتى تصل ١٠ ميجاوات في خلال فترة زمنية قدرها أسبوع واحد. ونحن نعتبر أن فترة أسبوع ربما تكون أطول مدة زمنية للتشعيع في ظل القوة العظمى (١٠ ميجاوات).

٢ ـ ١ ـ ٢ الخلايا الحارة ـ المعامل ـ التجهيزات المعملية:

المعامل:

يقسم الحيز المخصص للنظائر المشعة الى المعامل المختلفة الآتية:

- معمل الكيمياء الاشعاعية: وهو يختص بتطوير طرق انتاج نظائر مشعة جديدة والتحضيرات الخاصة بالمواد والمصادر المشعة الجديدة والتي تستخدم في المجال الطبي والمجالات العلمية الأخرى.

- معمل المركبات المرقمة: وهو يختص بتطوير طرق وتقنيات انتاج المركبات العضوية المرقمة.

- معمل القياسات الاشعاعية وقياسات الطيف النووي: وهو يختص بقياس والتعرف على المواد النووية المشعة.

- معمل التحليل: وهو يختص بمراقبة الجودة(مراقبة المواصفات) واصدار الشهادات (التراخيص).

- معمل التحليلات والتقديرات البيولوجية لاختبارات المستحضرات الصيدلية المشعة من زاوية التعقيم والخلو من الميكروبات المسببة للحمى.

وبجانب الخمس معامل المتخصصة السابق ذكرها فيوجد غرف أخرى لتقديم خدمات مختلفة مثل صيانة واصلاح الأجهزة وغرف المحضن (الأوتوكلاف) وحجرات لغسيل الأدوات الزجاجية وحجرات لتخزين العينات.

الخلايا الحارة:

تبنى الخلايا الحارة من الخرسانة الاسمنتية (الصبة الاسمنتية) ولها أبعاد داخلية قدرها ٢ر٢ م× ٥ر١ م × ٤ر٢ م. وسمك جدار الحاجز الواقي الأمامي يعادل ١٥ سم من الرصاص. وكل خلية مجهزة بالآتي:

نافذة مشاهدة - أجهزة تشغيل يدوي (انسان آلي) - باب اضافي للصيانة - مرشحات للهواء - شبكة خطوط لجمع النفايات وخطوط للخدمات. وتربط الخلايا بناقلة ميكانيكية لتكون خطاً مفرداً. وهذا الخط المفرد مجهز بالتجهيزات التالية:

عدد ١ خلية استقبال الناتج الأولي.
عدد ١ خلية غسيل وتعقيم العبوات.
عدد ١ خلية معالجة النفايات.
عدد ٦ خلايا لتجهيز وتحضير الانتاج.
عدد ١ خلية تغليف الناتج النهائي.
عدد ٢ جهاز محول أو ناقل داخل الخلية أحدهما رأسي (عمودي).
عدد ١ صندوق للنقل.
عدد ١ محول (جهاز ناقل) لخط تعبئة الناتج النهائي.

تستلم خلية الاستقبال المواد المشعة (الأهداف) والموجودة في صفائح محكمة الاغلاق ويتم تسليم تلك المواد المشعة بواسطة مصائد تشبه مصائد الأرانب تعمل بالضغط الهوائي أو في أواني حاوية ذات جدران واقية. ويتم ذلك داخل خلية الاستقبال والتي تكون مزودة بتجهيزات لاتمام العمليات التالية:

- استقبال الصفائح من مصائد الأرانب التي تعمل بالضغط الهوائي أو من الأواني الحاوية.
- فتح الكبسولات المصنوعة من البولي اثيلين.
- تقطيع الصفائح المصنوعة من الألومنيوم.
- قياس درجة النشاط الاشعاعي للأهداف التي تم تشعيعها.

بعد ذلك يتم تسليم الناتج من خلية الاستقبال reception cell بواسطة الناقلة الى أحد الخلايا الست المختصة بتحضير وتجهيز الناتج. وتجهز كل خلية من تلك الخلايا بالتجهيزات التالية:

- جهاز لقياس حجم السوائل.
- جهاز لأخذ العينات لتحليلها.
- جهاز قياس الـ pH (الأس الأيدروجيني) من بُعد remote-controlled.

- جهاز لفتح وغلق العبوات الزجاجية والأعمدة المولدة.
- جهاز لقياس درجة النشاط الاشعاعي للعينة.
- جهاز لفتح الأنبولات المصنوعة من الكوارتز (والتي يتم تجهيزها في خلية واحدة فقط).

كل خلية من هذه الخلايا تكون مجهزة بمجموعة من الأجهزة التكنولوجية (الفنية) تسمح باتمام العمليات التكنولوجية من أجل الحصول على التحضيرات اللازمة أو المركبات المرقمة بالنظائر المشعة وكذلك مولدات بعض النظائر المشعة ذات العمر القصير. يجب أن يتم التعامل مع نظير مشع واحد داخل الخلية.

العبوات الخاصة بالمستحضرات الصيدلية المشعة أو الخاصة بالأعمدة المولدة generator columns يتم تسليمها بواسطة الناقلة conveyor الى الخلية الخاصة بعملية التعقيم. وتحتوي خلية التعقيم هذه على جهاز أتوكلاف (المحضن) وحمام للغسيل وكذلك تجهز الخلية بآلة رافعة (ناقلة للحركة) عمودية وتستخدم تلك الرافعة في تسليم الناتج النهائي الى الخلية الخاصة بعمليات تغليف العينات.

وتزود خلية العينات بأوانٍ حاوية نظيفة ذات جدران واقية توضع فيها العبوات المشعة والأعمدة المولدة generator columns ، ثم تسلم الأواني بواسطة الرافعة (الناقلة الرأسية) من الخلية الى قسم التغليف الخاص بالغلاف الخارجي. وبعد ذلك تغلف الأواني الحاوية ذات الجدران الواقية بغلاف رقيق ثم توضع بعد ذلك داخل علب من الصفيح. ثم تغلق الصفائح بإحكام بواسطة آلة مخصصة لهذا الغرض ثم توضع الصفائح داخل صناديق من الكرتون ويزود كل صندوق بشهادة (ترخيص) ويتم ارسالها بعد ذلك الى مخزن الناتج النهائي.

صناديق خاصة:

يستخدم ١٥ صندوق مدرع، ٢ صندوق نقل في العمليات التكنولوجية المتعلقة بالتحضيرات (التجهيزات) الخاصة بالمواد المشعة التي تشع جسيمات بيتا

واشعاعات جاما والتي تصل درجة نشاطها الاشعاعي القصوى بالنسبة لنظير الصوديوم المشع ٢٤ الى ما يكافىء ١٠ ملليجرام راديوم (أو ٨٠٠ ميكروكوري من اليود المشع ١٣١) في أماكن العمل. هذا بجانب عدد ثلاثة صناديق ذات قفازات لانجاز العمل والتحضيرات الخاصة بالمواد المشعة التي تنطلق منها جسيمات بيتا ذات الطاقة المنخفضة.

والأبعاد الداخلية للصناديق ذات الجدران المدرعة فهي ٨ر١ م × ٠ر١ م × ٦ر١ م، أما أبعاد الصندوق ذي القفاز فهي ٨ر١ م × ٧٠٠ر٠ م × ٠ر١ م. والأبعاد الداخلية لصندوق النقل هي ٨٠٠ر١ م × ٧٠٠ر٠ م × ١٠٠٠ر١ م وكذلك ٩ر٠ م × ٧ر٠ م × ٠ر١ م. وتجهز الصناديق ذات الحواجز الواقية بآلة ميكانيكية تستجيب مباشرة لآلة أخرى (انسان آلي)، أما الصناديق ذات القفازات فتزود بقفازات مطاطية. كل الصناديق المذكورة مجهزة بأنظمة رؤية (مشاهدة) من بعد، أجهزة تهوية، ملء وتفريغ وتهوية مع تنقية الهواء، اضاءة مناسبة، أبواب منتصبة وخطوط للخدمات. كل الصناديق ذات الحواجز المدرعة تتصل بعضها بالبعض بواسطة ناقلة ميكانيكية أما صندوق الاستقبال فيتصل بخلية الاستقبال، كذلك يتصل صندوق التعقيم مع خلية تسليم الناتج النهائي وذلك بواسطة أجهزة الدفع hoisting gears. يوجد صندوقان منفصلان عن خط الصناديق يوضع فيهما المستحضرات بواسطة صندوق للنقل. وفي هذه الصناديق يتم اتمام العمليات الخاصة بتحضيرات الزلال تحت ظروف معقمة وتتكون شبكة خطوط الصناديق مما يلي:

- عدد واحد صندوق استقبال الناتج الاولي.
- عدد واحد صندوق خاص بالعبوات المغسولة والمعقمة.
- عدد ست صناديق خاصة بانتاج المستحضرات.
- عدد أثنين صندوق انتاج خاص بتحضيرات الالومنيوم.
- عدد واحد صندوق خاص بعمليات الكيمياء الاشعاعية.

- عدد واحد صندوق خاص بتجهيز العينات للقياسات الاشعاعية.
- عدد واحد صندوق خاص بالقياسات الطيف - ضوئية.
- عدد ثلاث صناديق ذات قفازات خاصة بتحضيرات المنتجات.
- عدد اثنين صندوق للنقل.
- عدد واحد ناقلة conveyor.

ويسلم الناتج الأولي initial المشع (الهدف) أو الناتج الذي تم تحضيره في شبكة خطوط الخلية - الى صندوق الاستقبال بواسطة جهاز الدفع hoisting gear. وفي صندوق الاستقبال يتم قياس كمية النشاط الاشعاعي للهدف كما يتم تقطيع بعض العلب المعدنية. ثم يتم نقل الهدف المذكور من صندوق الاستقبال الى صناديق تحضيرات الناتج بواسطة الناقلة حيث تتم هناك العملية الرئيسية الخاصة بتحضيرات المركبات المنتجة. ويتم تجهيز هذه الصناديق المذكورة بتجهيزات مشابهة للخلايا الخاصة بالمعالجة. فقط يجب مراعاة معالجة نظير مشع واحد داخل الصندوق.

٢ - ١ - ٣ امكانيات أخرى متاحة:

لم تتوفر أية معلومات تتعلق بوجود معجل خطي أو معجل دوّار يمكنها من احداث تفاعلات نووية لانتاج نظائر مشعة وبالتالي سوف نعتبرها غير موجودة. وفي الباب الثالث (الجزء ٣ - ٢) سوف نبدأ التطوير المقترح لانتاج نظائر مشعة ذات الأعمار القصيرة بواسطة قذف الأهداف بالجسيمات المشحونة charged particles وسنبدأ هذاالجزء بتعريف المعجل.

كما انه ليس هناك دليل يفيد بتوفر مصدر تشعيع جامي في الجماهيرية

الليبيـة ولـذلـك فـان الاشعـاع النووي سوف ينـاقش بصفـة خـاصـة في البـاب الرابع.

٢ ـ ٢ احتياجات خاصة بالبلاد العربية

تحتاج البلدان السائرة في طريق النمو الى دعم ومساعدة جهودها لزيادة نموهـا في المجـالات الصنـاعيـة والزراعيـة والطبيـة. مرة أخرى نقرر أن المعلومات المتجمعة المتوفرة في هذا الخصوص تعتبر قليلة وغير مكتملة، ومن ثم فان الافتراضات فقط هي التي سيشار اليها.

٢ ـ ٢ ـ ١ التطبيقات الصناعية:

تتطلب عمليات التنقيب الهامة عن النفط والغاز الطبيعي توفر مصادر اشعاعية فعالة من الأيريديوم المشع١٩٢ للاستعانة بها في التصوير الاشعاعي لخطوط الأنابيب الخاصة بتلك العمليات. ولقد تطورت أيضاً صناعتا الصلب والمعادن بدرجة كبيرة. وتحتاج عمليات مراقبة وجودة الانتاج الصناعي الى الاستعانة بالدراسات والبحوث التي تستخدم فيها التقنية النووية (باستخدام النظائر المشعة). ويمكن تحليل خامات النحاس والقصدير بالاستعانة بجهاز الأشعة السينية (رونتجن) للتحليل باستخدام ظاهرة التفلور وهذا الجهاز خفيف الوزن ويسهل حمله. أما فيما يختص بتحليل خامات الحديد فيمكن تعريض الخام المسحوق الى مصدر اشعاعي للنيوترونات وبعد ذلك يمكن ضبط أو قياس معدل انطلاق النيوترونات الحرارية الناتجة وكذا اشعاعات جاما الصادرة من خام الحديد الذي تم تشعيعه. وتستطيع صناعة الاسمنت أن تستفيد من استخدام النظائر المشعة في مراقبة عملية الانتاج من خلال قياس النشاط الاشعاعي أثناء دورة العمل في الفرن الخاص بتلك الصناعة.

٢ ـ ٢ ـ ٢ تطبيقات في مجال بحوث الزراعة والتربة والأغذية:

في البلاد الحارة تعتبر عملية التخلص من الآفات هامة، كما أن الطرق

الاشعاعية ذات أهمية خاصة لحفظ الخضروات الطازجة وللتخزين الطويل للمحاصيل.

ولقد خصصت الخطة الثانية للتحول الاقتصادي والاجتماعي (١٩٧٦ - ١٩٨٠) جزءاً كبيراً من امكانياتها لزيادة مساحة الرقعة الزراعية وسد حاجة الصناعات الغذائية. ولكي يتم تحقيق هذا الهدف فاننا بحاجة الى انشاء مشروع أو أكثر للتشعيع.

٢ - ٢ - ٣ التطبيقات الطبية:

خلال الفترة من ١٩٧٢ - ١٩٧٥ فان تطور ونمو الخدمات الصحية يوضح تزايداً في عدد أسرة المستشفيات وتوسعاً في الرعاية الطبية بما في ذلك تزايد عدد الأطباء. وبنهاية عام ١٩٨٠ سوف تشمل الخدمات الصحية تخصيص طبيب واحد وسبعة أسرة لكل ١٠٠٠ مواطن، وبلا شك فان أقسام الطب النووي سوف تسهم في هذا التطور العالمي والواسع الانتشار وخاصة بانشاء مركز لانتاج المواد المشعة في نفس المنطقة (البلد).

٢ - ٢ - ٤ التطبيقات في مجال البحوث

بصفة عامة فان البحوث في مجال العلوم الأساسية كالبيولوجيا والكيمياء الحيوية يتم انجازها في المعاهد العلمية العليا مثل الجامعات. وبالطبع فان مواضيع البحث سوف تتنوع (تتباين)، ولكن في بلد تهتم بتطوير الصناعة والزراعة فان المعامل العلمية سوف تقترح مواضيع للبحث. ان وحدة المركبات المرقمة اشعاعياً وكذا خدمات القياس الاشعاعي سوف تسهم الى حد كبير في برامج الأبحاث المتخصصة.

٢ - ٢ - ٥ الاستراتيجية الممكنة والتوصيات:

بسبب امكانيات الانتاج المحدودة للمفاعل الذري الليبي فان البرنامج المقترح سوف يتطور في الاتجاهات التالية:

١ ـ تطوير انتاج النظائر المشعة وبصفة خاصة المواد الدوائية. والغالبية العظمى من المواد الدوائية المشعة تتعلق بتحضير الموليبدينوم المشع ٩٩ من أجل انتاج المولد (مرجل) التكنيسيوم٩٩m . بالاضافة الى انتاج نظير التكنيسيوم المشع٩٩m ، فان انتاج مجموعة المركبات الباردة cold kits سوف تتم دراسته وتطويره.

ـ تطوير تجارب واختبارات المناعة الاشعاعية في مجال الطب البشري والطب البيطري وذلك في الدراسات المعملية التشخيصية المعملية التي تجري خارج جسم الانسان.

ـ اقتراح لتطوير الطب النووي باستخدام معجلات طبية صغيرة وكذا الاقتراحات الخاصة بانشاء معمل لانتاج المواد الدوائية المشعة.

ـ انشاء مصادر اشعاعية مغلفة sealed للأغراض المختلفة. ويمكن الاستعانة بشراء المواد المشعة الخام اللازمة لبناء مثل تلك المصادر الاشعاعية من الخارج اذا لم تسمح الامكانيات الحالية المتاحة من المفاعل النووي الحالي في تلبية الاحتياجات اللازمة لبناء تلك المصادر المشعة المغلفة من وجهة نظر النشاط النوعي specific activity المتعلقة بتلك المصادر.

ـ تدريب وتجهيز معمل لانتاج المركبات المرقمة المشعة.

ـ خطوط (شبكة) ارشاد وتوجيه لقياس واختبار مراقبة الجودة للمواد الدوائية المشعة وكذا لاختبارات المناعة الاشعاعية.

ـ **بالنسبة للصناعة فالتطوير** (الاستعانة) بجهاز fluorescence spectroscopy الطيف الفللوري بفعل الأشعة السينية (رونتجن) وكذا تطوير التحليل بطريقة التنشيط الاشعاعي activation analysis والاستعانة بالدراسات والبحوث التي تعتمد على الطرق الاقتفائية باستخدام النظائر المشعة واستخدامها لمراقبة خطوط الانتاج بواسطة المعايرة والقياس وكذا انتاج أجهزة المواد المشعة الصغيرة.

- في مجال التشعيع النووي ، المقترح للاستعانة بوحدات تشعيع جامية لاستخدامها في مجالات الزراعة والأغذية والصناعات الكيماوية وكذا عمليات التعقيم ضد الجراثيم والكائنات الدقيقة باستخدام أشعة جاما .

الباب الثالث

انتاج النظائر المشعة

٣ ـ ١ انتاج النظائر المشعة بواسطة المفاعلات النووية :

في المفاعل ذي البركة يسمح جهاز التشعيع بانزال الأهداف المراد تشعيعها في سلة تستقر بالقرب من قلب المفاعل . لو كانت طريقة العمل والتشغيل سهلة والهدف المشع تم تبريده بسهولة فان العيب الأساسي لهذه الطريقة المقبلة سوف يجبر أن يحمي الهدف المشع داخل اناء حاوي ملحوم ومغلف تغليفاً محكماً . وهناك جهاز عادي يسمح بتحميل أو عدم تحميل المفاعل دون الحاجة الى وقف العمل به .

أثناء فترة التشعيع يجب قياس الفيض النيوتروني الحراري وتوزيع الطاقة للنيوترونات كما يجب مراعاة عدم حدوث أي هبوط أو انخفاض في الفيض النيوتروني بسبب تأثير عمليات التشعيع المجاورة . عملية التهديف (قذف الأهداف) يجب أن تتبع طريقة معروفة جيداً وأن تكون تلك الطريقة محكومة وخاضعة لضمانات الأمن والسلامة في المفاعل . ويوصى بأن يتم انتاج النظائر المشعة بواسطة كبسولات تشعيع عيارية أكبر حجماً ، وسوف نقدم وصفاً لهذه الكبسولات كنموذج والتي تم استخدامها لمدة ١٥ عاماً في المفاعل البلجيكي ب ر ٢ BR II .

السلال المفتوحة **Open Baskets**

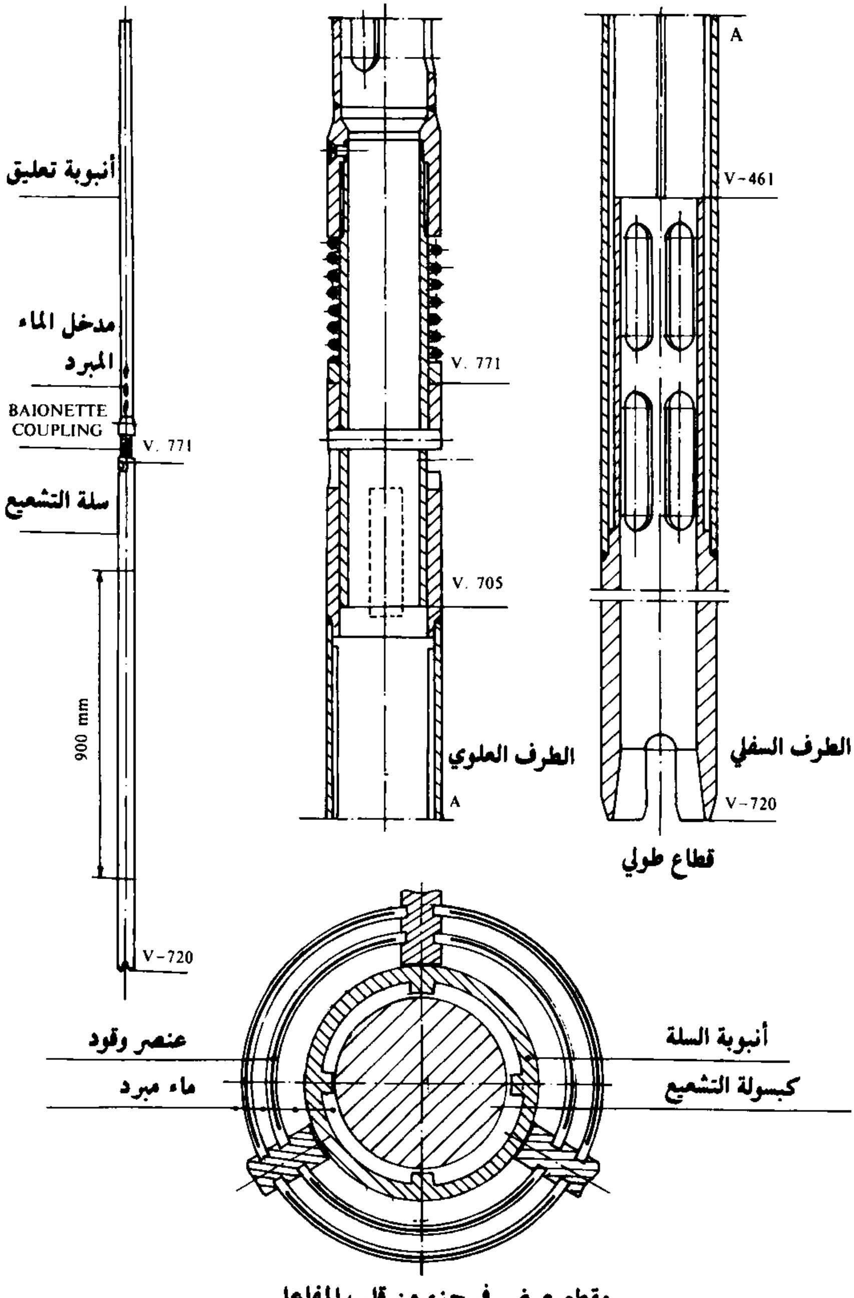
يعاد تحميل السلال المفتوحة بكبسولات النظائر المشعة. ويمكن استخدامها في قنوات العاكس وأيضاً في القنوات الرأسية خلال قلب المفاعل. وفي بعض الأحيان يمكن ادخالها في قنوات عناصر الوقود لو كانت هناك حاجة لذلك. كما يجب أن تحدد أبعاد السلال المفتوحة تبعاً لحجم القنوات التي ستدخل فيها ويجب أن يكون أكبر قدر من الفراغ الداخلي لهذه السلال مخصصاً أساساً لكبسولات الهدف المراد تشعيعه (شكل ١).

وتتركب السلال من أنبوبة من الالومنيوم تزود في كل من الطرفين بأدوات للربط أو التوصيل. وعملية التحميل أو عدم التحميل للسلال بالكبسولات المشعة يمكن معرفتها عن طريق الطرف العلوي للانبوبة وعادة ما يكون تحت الماء في بركة المفاعل وتغلق فتحة التحميل (الشحن) بصعود أنبوب التعطيل المؤقت الى السلة.

وتزود السلال الخاصة بالعاكس بفتحات (ثقوب) جانبية خاصة بماء التبريد الداخل الى الكبسولات. أما بالنسبة لقنوات عناصر الوقود فان أنبوب السلة الخاصة بها ليس لها ثقوب. وانما يوجد بها أربع زعانف طويلة في الجدار الداخلي للأنبوب من أجل مركزة الكبسولات المشعة ولكي تتيح لماء التبريد أن يتدفق ماراً داخل السلة بين الكبسولات وجدار الأنبوب. وتحدد ضمانات الأمن والسلامة المعدل المقبول للفيض الحراري عند سطح الكبسولات بصفة عامة في حدود من ٥٠ - ١٠٠ وات/سم^{٢}. ربما يسمح بمعدلات حرارية أعلى ولكن ذلك يحتاج الى فحص دقيق.

كبسولات النظائر المشعة:

هناك نوعان من الكبسولات القياسية يستخدمان معا في السلال المفتوحة (السابق شرحها) من أجل تشعيع كميات ضئيلة لمجموعات كبيرة من العناصر



مقطع عرضي في جزء من قلب المفاعل

(شكل ١) السلة المفتوحة من نوع (آر. اي)

والمركبات. تصنع هذه الكبسولات من الألومنيوم ويحكم غلقها بأحكام بواسطة أغطية ملحومة، (شكل ٢) يوضح ذلك.

كبسولات سي. إس. إف:

يزود هذا النوع من كبسولات التشعيع بغطاء ملحوم على البارد واسطوانة داخلية من الجرافيت بها ثقوب مجوفة اسطوانية (حامل للعينة) وتستخدم على أساس روتيني في تحميل العينات في المفاعل. وبالطبع تكون ا لعينات التي سيتم تشعيعها خاضعة لمواصفات متفق عليها سواء من ناحية التركيب الكيميائي أو من ناحية الكمية. ويقتصر استخدام هذه الكبسولات على العينات التي ينتج عن تشعيعها كمية من الحرارة منخفضة نسبياً وكمية النشاط الاشعاعي الناتج منخفضة كما هو الحال في العناصر والمركبات المكونة لقائمة المواد المشععة القياسية. وأيضاً فيما يتعلق بأمر فترة التشعيع فان الكبسولات من نوع سي. إس. إف محددة بعدة أشهر قليلة كحد أقصى. وتكمن المزايا الخاصة بهذا النوع من الكبسولات في بساطتها والطريقة التجارية لعملية الكبسلة.

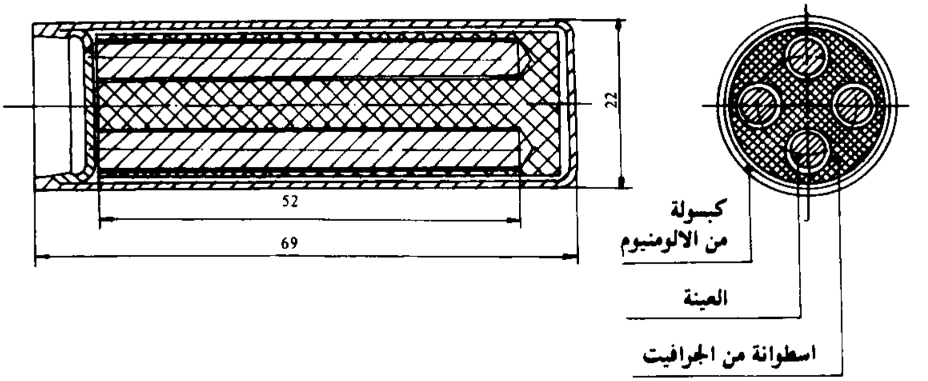
وتحاط الكبسولات سي. إس. إف بجُلبة مثقوبة ومهيأة لكي تتلاءم مع ثقب السلة.

الأبعاد الخارجية للكبسولة هي: ٢٢ مم فطر، ٦٩ مم طول.

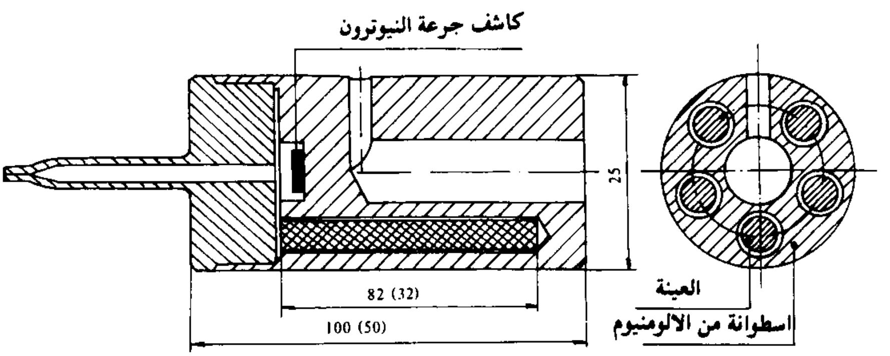
كبسولات آي. آر:

بالنسبة لتشعيع العينات الصغيرة سواء من ناحية الكمية وكمية النشاط الاشعاعي الناتج، والحرارة الناتجة، والتركيب الكيماوي، والخواص الطبيعية أو فترة التشعيع، وفي حالة الفروق الأساسية بالمقارنة مع العينات القياسية المصدقة عليها فان الكبسولات من نوع آي. آر هي الأفضل للاستخدام.

ويتكون هذا النوع من الكبسولات من كتلة اسطوانية من الألومنيوم



كبسولة من نوع (سي. اس. اف)



(شكل ٢) كبسولة من نوع (آي. آر)

مزودة بحامل به ثقوب مجوفة اسطوانية الشكل ذات أقطار مختلفة تبعاً لأبعاد العينات التي سيتم تحميلها. وتغلق الكبسولات بإحكام بواسطة غطاء تم لحامه باستخدام حزمة من أشعة الالكترونات. وهذا الغطاء له زائدة أنبوبية لتحقيق ملء الكبسولة بالغاز المناسب. ويستخدم عادة غاز الهليوم في ملء الكبسولات وذلك لجودة توصيله الحراري، لأنه غاز خامل.

وتستخدم كبسولات (آي. آر) بصفة منتظمة في انتاج مصادر الاريديوم المشعة.

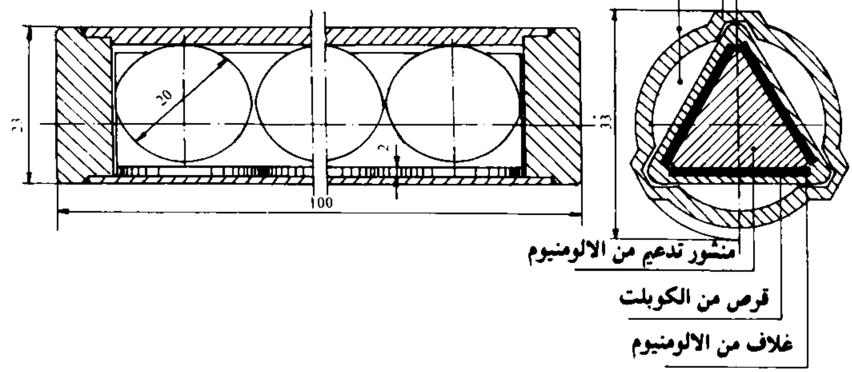
الأبعاد الخارجية لهذا النوع من الكبسولات هي: ٢٥ مم قطر، وطول ٥٠ - ١٠٠ مم.

تغلف العينات المشعة والتي كثيراً ما تستخدم على هيئة مسحوق ناعم، في عبوات من الكوارتز من أجل تحميلها في كبسولات من نوع (سي. إي. إف) أو من نوع (آي. آر) ويجب أن يكون مسحوق العينات المراد تشعيعها خالياً من أية رطوبة (غير مائي) ومقاوماً للانحلال الحراري والتحلل الاشعاعي.

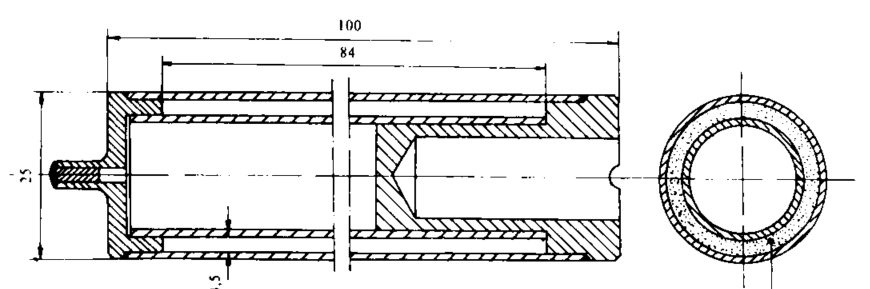
أجهزة تشعيع الكوبالت Cobalt Irradiation Devices :

تستخدم أجهزة عديدة في المفاعل من نوع BRII وذلك لانتاج مصادر مشعة من الكوبالت ٦٠ وتكون العينات على هيئة أقراص (قطر ٢٠ مم × ١ مم أو قطر ١٠ مم × ١ مم) أو على هيئة كريات عدسية (قطر ١ مم × ١ مم ارتفاع).

ويتم تشعيع أقراص الكوبالت داخل كبسولات من الألومنيوم ذات مقطع مثلثي الشكل كما هو واضح في (شكل ٣) ويبلغ طول هذه الكبسولات والتي تم لحمها بواسطة حزمة أشعة الكترونية في حدود ١٠٠ مم وتحمل هذه الكبسولات في سلال تشعيع خاصة من الألومنيوم من نوع (سلال « RG 24 ») والتي يتوافق أبعادها مع قطر قنوات العاكس. وتحتوي كل كبسولة على عدد



كبسولة لاقراص الكوبالت



(شكل ٣) كبسولة لكريات الكوبالت

117

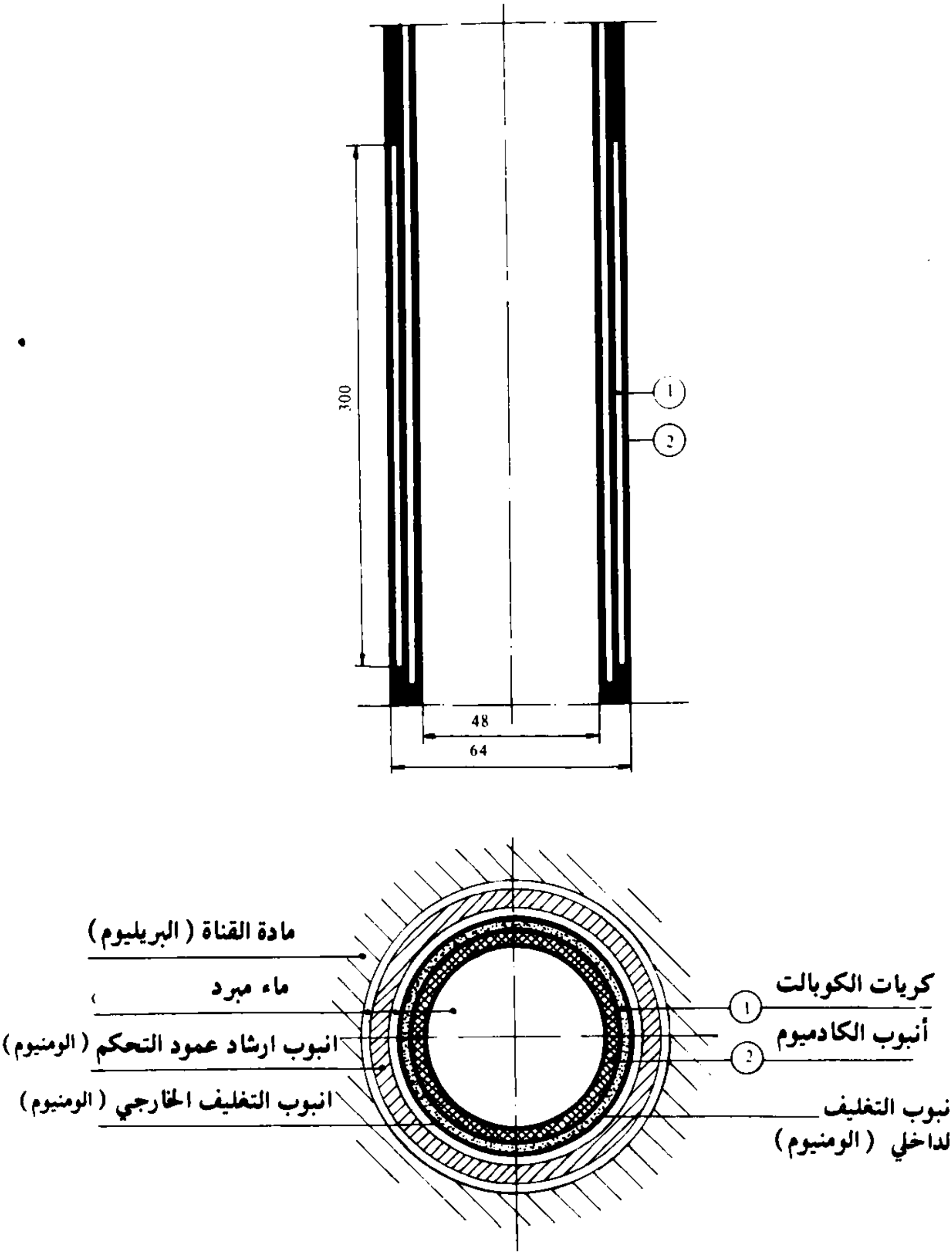
١٢ قرصاً من الكوبالت ذات قطر ٢٠ مم ، ويُطوى غلاف الألومنيوم على الأقراص باستخدام ضغط خارجي من أجل تحسين التفريغ الحراري. وتحتوي سلة التشعيع الواحدة من نوع « آر . جي . ٢٤ » بصفة عامة على عدد ٩ كبسولات كوبالت مثلثية الشكل.

ومن ناحية أخرى فان كريات الكوبالت الصغيرة يتم تشعيعها بعد تنظيمها على شكل صفوف حلقية داخل كبسولات اسطوانية مملوءة بغاز الهليوم (كما هو موضح في شكل ٣) . أو داخل أنابيب خاصة معدة بطريقة خاصة بحيث تلحق بالطرف السفلي لقضبان التحكم في مفاعل BRII (كما هو موضح في شكل ٤) . وتُعبأ هذه الكبسولات الاسطوانية داخل سلال التشعيع القياسية من نوع « RA 25 » أو من نوع « RE 25 » وتحتوي كل واحدة على حوالي ٦٥ جم من الكوبالت . أما كمية الكوبالت التي تلحق بنهاية الطرف السفلي لقضيب التحكم فتصل الى حوالي ١٨٠ جم .

بعد تشعيع عينات الكوبالت يتم اجراء عملية الاستخلاص في الخلية الحارة للمفاعل بواسطة إذابة كساء الألومنيوم aluminium cladding بواسطة محلول كاوي أو بواسطة التعرية الميكانيكية لو أمكن . ووجود طبقة من النيكل على سطح الكوبالت يمنع التآكل (الصدأ) وكذلك التلوث . ويمكن أن تصل كمية النشاط النوعي specific activity لمصادر الكوبالت الى ٥٠ - ١٠٠ كوري/جم ويتوقف ذلك على زمن التشعيع وعلى مكان التشعيع .

أنابيب تمبل من نوع « دي . جي » «DG» Thimble Tubes.

بصفة عامة يتم التحميل أو التفريغ للأدوات وأجهزة التجارب فقط خلال فترة توقف العمل (غلق المفاعل) أو اعادة التزود بالوقود النووي . وبواسطة ما يُسمى بأنابيب تمبل Thimble tubes والتي تنفذ من بركة المفاعل الى قلب المفاعل ، يسهل الوصول الى بعض قنوات التشعيع خلال عملية التشغيل لفترات



(شكل ٤) كبسولة الكوبالت عند الطرف السفلي لعمود التحكم

تشعيع قصيرة مستقلة عن دورات المفاعل النووي.

تتصل أنابيب تمبل ـ المصنوعة من الألومنيوم ببركة المفاعل وتملأ بماء راكد (غير متحرك) stagnant water. وتحمل هذه الأنابيب عادة بسلات تشعيع مفتوحة open baskets تحتوي على كبسولات نظائر مشعة قياسية.

ويقتصر استخدام أنابيب تمبل على العينات التي ينطلق منها كميات منخفضة من الحرارة خلال فجوة الماء الراكد الى جدار الأنبوبة والتي يجري تبريدها من الخارج بواسطة ماء التبريد الأولي للمفاعل. ويعتبر فيض حراري قدره ٢٥ وات/سم٢ على سطح الكبسولات المشععة في أنابيب تمبل من نوع «دي. جي» هو الحد الأقصى الذي يمكن تحمله. وخوفاً من مخاطر تلوث ماء البركة في حالة تلف أو انكسار أحد الكبسولات فانه يسمح فقط بتشعيع العينات ذات الخطر الاشعاعي المنخفض في هذا النوع من الأنابيب.

ومن أجل تحسين سعة التفريغ الحراري لهذا النوع من التشعيع بواسطة أنبوبة تمبل فان جهاز جديد يسمى «دي. جي. آر. DGR» جاري تنفيذه فعلاً وهو يمد قسم المفاعل inpile section بدائرة مفردة مغلقة من ماء التبريد الواقع تحت ضغط وهو يجمع بين مميزات التعبئة (التحميل) لأجهزة وآلات التشعيع (وأيضاً أقسام اختبارات الأجهزة) مع امكانية تحمل معدلات حرارية نووية تصل حتى ١٠٠ كيلووات وكذا العينات التي تنطوي على خطر متزايد للتلوث.

الأرنب الهيدروليكي «HR» Hydraulic Rabbit :

يجري التشعيع لفترات زمنية قصيرة للكبسولات الفردية الصغيرة في دائرة الماء المغلق تسمى الأرنب الهيدروليكي «HR». ويضمن سريان الماء الخالي من المعادن والأملاح التبريد التلقائي للعينات وكذا ادخال واستعادة الكبسولات المشعة عن طريق السريان العكسي flow inversion. ويتم تعريض هذه

الكبسولات الى الفيض النيوتروني داخل أنبوبة تمبل والتي يتم ادخالها plunging الى قلب المفاعل .

يمكن اجراء الشحن والتفريغ خارج المفاعل في بركة الماء . وهناك خطان من الأنابيب يربطان المحطة النهائية بمبنى المفاعل ، أحدهما لنقل الكبسولات المشععة (ذات قطر داخلي ٢٦ مم) والأخرى لاعادة دوران ما يسمى بالـ loop water .

ويمكن تلخيص الخصائص الرئيسية للأرنب الهيدروليكي Hydraulic Rabbit فيما يلي : -

- ضغط الماء : nominal	١٥ كجم/سم٢
- معدل سريان الماء : nominal	٥ م
- درجة حرارة الماء الداخلي :	حوالي ٤٠° م
- سعة التفريغ الحراري :	٣٤ كيلووات
- أقصى فيض حراري مسموح به عند :	
سطح الكبسولات المشععة nominal	١٥٠ وات/سم٢
الاستثناء :	٢٥٠ - ٣٠٠ وات/سم٢
- الأبعاد المسموح بها للكبسولات المشععة عند استخدامها مع حامل كبسولة قياس	
قطر :	١٦ مم
طول :	١٥٠ مم
- أبعاد الكبسولات بدون استخدام حامل	
قطرها عند المركز :	٢٠ مم
قطرها عند الأطراف :	٢٤ مم
الطول :	٢١٤ مم

كبسولات النظـــائر القيـــاسيـــة من نوع « س . إس . إف » CSF يمكن استخدامها بدون حامل carrier .

ويُعبأ الأرنب الهيدروليكي بعدد من الكبسولات يصل الى ثلاثة ويبلغ الحد الأقصى لطول كل كبسولة ٢١٤ مم . وهي عبارة عن أنبوبة تمبل مصنوعة من الألومنيوم مزودة بفتحة في الطرف العلوي لاعادة دخول الماء المتدفق (سريان الماء) وبقطر خارجي قدره ٤٥ مم ، ويمكن وضع الأرنب الهيدروليكي هذا في مكان محدد بالعاكس بواسطة قناة مزودة بجلبة .

بالاضافة الى أن الكبسولات الخاصة (مثل قضبان الوقود) تحتوي على وقود نووي (يورانيوم و/أو بلوتونيوم) يمكن تعبئتها (تحميلها) ، فإنه من غير المسموح حتى بالنسبة لأكفأ أنواع الكبسولات (مثلها في ذلك مثل قضبان الوقود) أن تسحب من قلب المفاعل أثناء القوة العظمى لتشغيل المفاعل وذلك لتجنب احتراق العينات أو انعدام العينة أثناء عكس تيار التبريد لاسترداد الأرنب الهيدروليكي . إن تفريغ هذه الكبسولات يتطلب انقاص قوة المفاعل أو الانتظار حتى نهاية دورة تشغيل المفاعل .

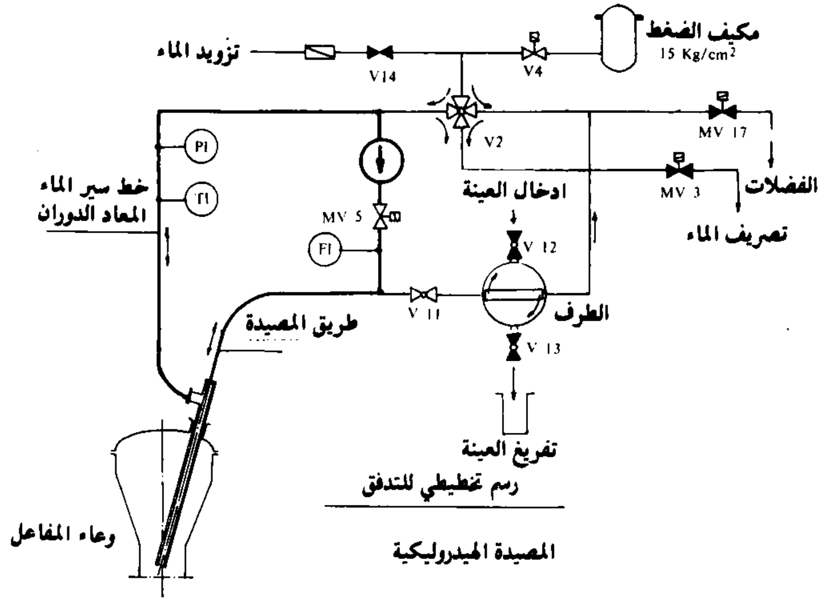
يجب ملاحظة انه بسبب الاستخدام المنتظم والمستمر للأرنب الهيدروليكي في انتاج النظائر المشعة فان زمن التشعيع لكل عينة محدد بفترة زمنية لا تتعدى بضعة أيام قليلة .

ويمكن قياس الفيض النيوتروني بدقة وذلك من خلال حقن مجسات ذات نشاط اشعاعي قبل وبعد التشعيع .

يوضح (شكل ٥) رسماً تخطيطياً لحركة (خط سير) الأرنب الهيدروليكي « HR » ويوضح أيضاً الأبعاد لحامل العينة المعتاد .

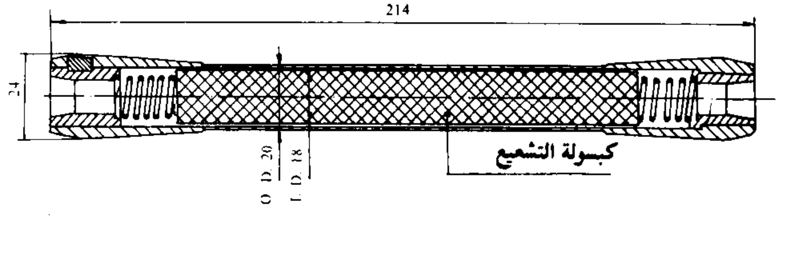
عند اختيار مادة الهدف المراد تشعيعه يجب مراعاة النقاط التالية :ـ

١ ـ عدم حدوث اي تغير طبيعي أو كيميائي أثناء عملية التشعيع .



رسم تخطيطي للتدفق

المصيدة الهيدروليكية



حامل العينة

(شكل ٥) المصيدة الهيدروليكية

٢ - الصورة الكيميائية لمادة الهدف يجب أن تكون معروفة محددة حتى يمكن تجنب أي تنشيط اشعاعي لعناصر أخرى بخلاف العنصر المراد تنشيطه نتيجة للتفاعل النووي.

٣ - ولنفس السبب السابق يجب أن تكون مادة الهدف نقية كيميائياً، درجة النقاوة النووية مطلوبة قدر الامكان، واذا لم يتيسر، فعلى الأقل توفر درجة من النقاوة التحليلية.

٤ - يجب أن تكون مادة الهدف خالية من أي رطوبة أو وجود أي غاز أو أي مادة أخرى يمكن أن تتحول الى الصورة الغازية تحت ظروف درجة حرارة التشعيع.

٥ - يشترط عدم حدوث أي تفاعل بين مادة الهدف المراد تشعيعه ومادة الوعاء الحاوي للهدف نفسه.

وبصفة عامة فان الفلزات أو المعادن يجري تشعيعها على صورة أكسيدات أو كربونات العنصر، وفي بعض الحالات فان صورة الكلوريدات تعتبر أكثر نقاوة، وفي تلك الحالة يجب اجراء عملية تنقية لكي يتم فصل الأنيون المشع عن الكاتيون المشع، كما يوصى بعدم استخدام الجزيئات المتعددة الذرات باستثناء طرق زيلارد - شالمرز (Szilard-Chalmers) لانتاج النظائر المشعة.

في حالة استخدام أهداف مثراة enriched targets يجب أن تشير الشهادة المرفقة الى النسبة المئوية للنظائر المختلفة الموجودة وكذا درجة النقاوة الكيميائية للمركب المنتج.

وقبل البدء في أول انتاج للنظير المشع يجب دراسة ومراعاة النقاط التالية:

١ - درجة الحرارة التي يمكن أن تصل اليها مادة الهدف أثناء التشعيع، اذ

يجب ارجاء اختبار التسخين تحت نفس الظروف الحرارية المماثلة لحرارة التشعيع.

٢ - النقاوة النووية للنظير المطلوب تحضيره وذلك عن طريق اجراء اختبارات تشعيعية لكميات ضئيلة من الهدف ثم التدرج باستخدام كميات متزايدة بانتظام من الهدف حتى الوصول الى الكمية القصوى المطلوبة.

٣ - كل أنبولة وكل وعاء حاوي يجب تنظيفه جيداً وذلك بغسله بالماء والكحول والاسيتون قبل التجفيف ثم تمييزه برقم مسجل.

٣ - ٢ انتاج النظائر المشعة بواسطة المعجلات:

(Accelerator Produced Radiosotopes)

يمكن تبرير زيادة استخدام المعجلات في انتاج النظائر المشعة فيما يلي:

(١) تمثل امكانيات جديدة في الحصول على مستحضرات صيدلية مشعة ينبعث منها أشعة جاما ذات خصائص جديدة (يرتبط هذا بتوفر أجهزة الكشف الاشعاعي المناسبة).

(٢) تمتاز النظائر المشعة المنتجة بواسطة المعجلات بقصر فترة عمر النصف بصفة عامة عن تلك النظائر التي تنتج بواسطة المفاعلات (جرعة منخفضة للمريض) ومن ثم امكانية الفحص المتكرر. كما ان أشعة جاما المنطلقة منها ذات طاقة تدفق عالية تناسب غرض الفحص والتصوير من الخارج.

(٣) غالباً ما تكون النظائر المشعة المنتجة على هيئة ذرات كلها مشعة غير محملة carrier free (وهذا مهم للدراسات في مجال تشخيص الأمراض).

(٤) ازدياد تقدم وتطور أجهزة الكشف والقياس وجهاز الحاسب الآلي.

(٥) التقدم والتطور المرتقب بالنسبة لكاميرا البوزترون (شكل ٦).

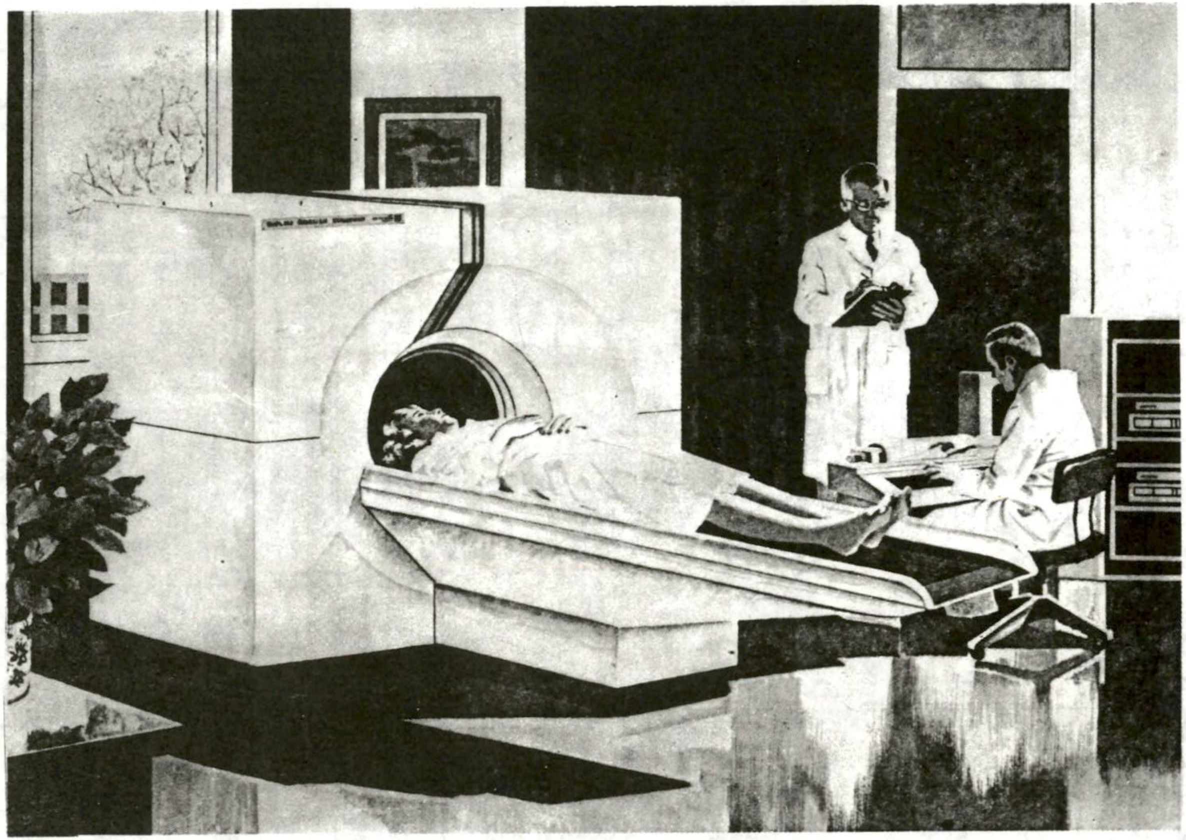


Fig. 6

(شكل ٦) كاميرا البوزترون موديل ٤٥٠٠ (الرسم السطحي)

(٦) قلة كمية النفايات المشعة وخطر التعرض الاشعاعي الى أقل قدر ممكن (بمعنى آخر قلة التلوث).

وعلى ذلك هناك اعتباران رئيسيان يشجعان على زيادة انتاج النظائر المشعة بواسطة هذه الطريقة وهما: سلامة المريض - توفير معلومات طبية أفضل في مجال التشخيص الطبي التصويري والفسيولوجي وتمثل الناحية الاقتصادية أهم العوامل المرتبطة لطريقة انتاج النظائر المشعة بواسطة المعجلات. في الماضي كانت النظائر المشعة المنتجة بواسطة المعجلات غالية الثمن جداً اذا ما قورنت بالنظائر المشعة المنتجة بواسطة المفاعل وذلك يرجع الى التكاليف العالية لكل الآلات والمعدات المستخدمة وكذا أعمال الصيانة والانتاج.

ولكن الآن وبعد زيادة الطلب على النظائر المشعة كذا بزيادة القدرة على انتاج كميات كبيرة من المواد المشعة، فان الاستراتيجية الخاصة بمختلف المنتجين هو بناء واقامة سيكلوترون مخصصة فقط لانتاج نظائر مشعة. وتشير اتجاهات الدول المتقدمة الى نمو الطلب وازدياد القدرة على انتاج مواد مشعة، الأمر الذي وضع استراتيجية لبناء معجلات دوارة تهدف الى انتاج النظائر المشعة فقط.

وأوضح تقدير حديث لسوق النظائر المشعة أن أكثر من ٥٠٪ من أقسام الطب النووي في عام ١٩٩٠ سوف تعتمد على النظائر المشعة المنتجة بواسطة السيكلوترون (المعجل الدوار). هذا ويفضل استخدام السيكلوترون على المعجل الخطي من أجل الانتاج والأغراض الصناعية المختلفة (سيكلوترون انتاج)، وذلك لأسباب فنية تتعلق بمساحة المكان المطلوب ودقة الحزمة المستخدمة في حالة الحاجة الى طاقة عالية. ويوصي المنتجون باستخدام (معجلات دوارة للانتاج).

تلزم الحاجة الى التمييز بين نوعين من أدوات الانتاج في هذا المجال وهما سيكلوترونات طبية حيوية، وسيكلوترونات انتاجية.

المعجل الدوّار الطبي الحيوي Biomedical Cyclotron :

بالرغم من عدم امكان استخدام السيكلوترون الطبي الحيوي في برنامج تجاري أو قومي لانتاج النظائر حيث أن استخدامه أساساً يخصص من الناحية العملية لتغطية احتياجات مستشفى واحد كبير، فانه من الجدير بالذكر أن نتناول بالمناقشة الاسهام الآخذ في الازدياد لهذه المعدات والآلات (السيكلوترون الطبي الحيوي) في مجال الطب النووي. ويعمل حالياً في الوقت الحاضر ٢٠ سيكلوترون طبي ومنها :-

الموقع	التصنيع (الموديل)	تاريخ التركيب
(١) مستشفى هامرسميث - لندن - انجلترا	مجلس البحوث الطبية	١٩٥٥
(٢) معهد مالنكرودت للطب الاشعاعي (سانت لويس - ميزوري - أمريكا)	اليس كالمرز	١٩٦٥
(٣) مستشفى ماساشوسيتس العام (بوسطن - ماساشوسيتس - أمريكا)	اليس كالمرز	١٩٦٧
(٤) معهد سلون كترينج لبحوث السرطان (نيويورك - أمريكا)	شركة السيكلوترون (سي . إس - ١٥)	١٩٦٧
(٥) مستشفى أرجون لبحوث السرطان (شيكاغو - الينويس - أمريكا)	شركة السيكلوترون (سي . إس - ١٥)	١٩٦٩
(٦) مستشفى جوليت فريدريك للخدمات (أورساي - فرنسا)	شركة طومسون (س . إس . إف) مندمج	١٩٧١

(٧) جامعة كاليفورنيا (لوس أنجلوس - كاليفورنيا - أمريكا)	شركة السيكلوترون (س . إس - ٢٢)	١٩٧١
(٨) معهد الطب النووي (هايدلبرج - المانيا الغربية)	أي . إ . جي (مندمج)	١٩٧٢
(٩) مستشفى جبل سيناي (ميامي - فلوريدا - أمريكا)	شركة السيكلوترون (سي . إس . ٣٠)	١٩٧٢
(١٠) جامعة طوكيو (طوكيو - اليابان)	شركة السيكلوترون (س . إس . ٣٠)	١٩٧٣
(١١) المعهد الطبي (هانوفر - المانيا الغربية)	سكاندترونكس (إم . س . ٢٠)	١٩٧٣
(١٢) معهد علوم الطب الاشعاعي (شيبا - اليابان)	طومسون (س . إس . إف ٧٠)	١٩٧٤
(١٣) جامعة ليجيه (ليجيه - بلجيكا)	طومسون (س . إس . إف) مندمج	١٩٧٤
(١٤) كلينك إسن (مدينة إسن - المانيا الغربية)	شركة السيكلوترون (س . إس . ٣٠)	١٩٧٤
(١٥) مستشفى ادنبره (ادنبره - اسكتلندا)	شركة السيكلوترون (س . إس . ٣٠)	١٩٧٦
(١٦) مستشفى الملك فيصل المملكة العربية السعودية	شركة السيكلوترون (س . إس . ٣٠)	١٩٧٧
(١٧) جامعة جنت (جنت - بلجيكا)	طومسون (س . إس . إف) مندمج	١٩٧٨

وفي أوروبا تم التعاقد على شراء خمس سيكلوترونات طبية سوف تبنى خلال السنوات الثلاث القادمة.

وبالرغم من الحقيقة المؤكدة القائلة بامكانية الحصول على نتائج قيمة باستخدام سيكلوترون ذي مقدرة محدودة جداً كالمستخدم في كل من مدينتي سانت لويس وبوسطون (قدرة الجهاز ٦ مليون الكترون فولت ـ ديترون)، فانه من الواضح أيضاً أن الأجهزة الحديثة التي تستطيع تعجيل كل من البروتونات والديترونات ونظير الهليوم٣، وجسيمات ألفا، هي أجهزة ذات حجم كبير جداً ومن ثم لها طاقة انتاجية ذات شأن كبير. وتتوقف طاقة السيكلوترون (معبراً عنها بطاقة حزمة الأشعة (beam energy) على المهام والواجبات التي يطلب منه اداؤها.

فمثلا لو كان الاحتياج أو الغرض الأساسي من السيكلوترون هو الامداد المحلي بنظير اليود١٢٣، فان قدرة ٣٠ مليون الكترون فولت ـ بروتون تعتبر كافية للحصول على انتاج متواضع، ولكن يجب ملاحظة استخدام النظير المنتج في نفس اليوم بسبب وجود الشوائب النووية المهمة من نظير اليود١٢٤. وعندما لا تكون هناك حاجة ضرورية لنظير اليود١٢٣ (الامداد الصناعي)، فان طاقة الحزمة يمكن أن تكون أقل أي في حدود ١٥ مليون الكترون فولت ـ بروتون. وتستخدم تلك الأجهزة بصفة أساسية في انتاج نظائر: الكربون١١ والنيتروجين١٣، والأكسجين١٥، والفلور١٨، وكذلك في انتاج أنواع كثيرة من الجزيئات مثل أول أكسيد الكربون، ثاني أكسيد الكربون، الأمونيا، والمركبات العضوية المرقمة بنظائر الكربون١١، والنيتروجين١٣، والاكسجين١٥. وبسبب فترة عمر النصف القصير جداً لهذه النظائر، لذا يشار في استعمالها في المستشفيات بالاستخدام الفوري عقب الانتاج مباشرة وذلك بجانب سرير المريض، كما تتميز تلك النظائر بعدم وجود مشاكل نفايات نووية لها.

وحديثاً فان فرصة الاستفادة من تواجد السيكلوترون الطبي في المستشفى قد ادخل عليها تعديلا وذلك بسبب تطور بحوث العلاج بالنيوترونات وعندما

ترغب المستشفى في ضم وتوحيد عملية انتاج النظائر المشعة اللازمة لها مع عملية العلاج بالنيوترونات بنفس الآلة فانه في هذه الحالة يجب توفر طاقة حزمة أشعة بروتونات أعلى من ٤٠ مليون الكترون فولت. وبذلك يصبح في الامكان أيضاً انتاج كميات كبيرة من النظائر المشعة وكذلك امداد المستفيدين الآخرين باحتياجاتهم من المستحضرات الصيدلية المشعة. ولكن لوحظ من الخبرة العملية أن الجمع بين غرضين أو هدفين ـ كل منهما يختلف في علاقته عن الآخر ـ يعتبر عملا غير متناسق (أحدهما يلزمه احتياطات طبية فورية وكذلك الامداد الفوري للنظائر ذات عمر النصف القصير)، وانه من المفضل اختيار آلة او جهاز واحد لتحقيق الهدف المفرد الذي تم اختياره.

السيكلوترونات الانتاجية Producer's Cyclotrons :

في الوقت الحاضر يوجد عدد قليل من المنتجين يملكون السيكلوترونات الانتاجية الخاصة بهم، ولكن في السنوات الخمس القادمة فان أكثر من خمس سيكلوترونات انتاجية في أوروبا ستكون معدّة للعمل.

وبسبب صعوبة الحصول بطريقة اقتصادية بالاستيراد على نظائر مشعة ذات فترة عمر النصف قصير، ونظراً لأن المجتمع العربي من الكبر وعظم الشأن بحيث يمكنه امتصاص الطاقة الانتاجية لوحدة انتاجية من السيكلوترون، وفي ضوء ما تقدم فانه يمكن التوصية باقامة سيكلوترون انتاجي.

مرة أخرى نؤكد أن اختيار قوة السيكلوترون المقترح انشاؤه ترتبط أو تتوقف على الهدف المطلوب. فمن حيث المبدأ نجد أن معدل انتاج النويدات المشعة يزداد في علاقة مباشرة مع تيار حزمة الأشعة. وبناء عليه يمكن الافتراض بانه كلما زاد التيار في الحزمة كلما زاد الانتاج وتوسع. وتوجد العلاقة الخطية فقط في مجال محدود من قوة التيار وبصفة خاصة عندما يتم التشعيع خلال صندوق التفريغ الخاص بالسيكلوترون. بل ان الأكثر أهمية من

ذلك تلك الحقيقة التي تفيد بأن عدداً من مواد الأهداف ـ (وخاصة تلك التي يجب تشعيعها في حزم خارجية مثل الأملاح ، الأكاسيد ، والسوائل) ـ لها درجة توصيل حراري رديئة لدرجة انها لا تستطيع تحمل حزم الأشعة ـ ذات الانتشار الجيد ـ شدة تيارها لا تتعدى أكثر من بضع عشرات الميكروأمبيرات .

الحد الأدنى من الخصائص (الصفات) هي :

- القوة : طاقة الأشعة على الأقل ٤٥ مليون الكترون فولت ـ بروتون ٧٥ مليون الكترون فولت ممكن .
- الحزمة الخارجية : ٥٠ ميكروأمبير عند الحد الأقصى لطاقة حزمة البروتونات .

٢٠٠ميكرو أمبير عند طاقة حزمة بروتونات قدرها ٤٠ مليون الكترون فولت .

- امكانية استخدام حزمة داخلية .
- سيطرة تحكم الحاسب الالكتروني على كل أعمال السيكلوترون وعلى عملية التشعيع .
- نظام أتوماتيكي في استعادة الأهداف التي تم تشعيعها وكذلك عملية نقلها الى خلايا الانتاج .
- لا تقترح الشركات المنتجة للسيكلوترون هذا النوع من الآلة لانه من الصعب الجمع بين خصائص الطاقة العالية والتيار العالي مع مستوى عال من السلامة المنتظم ولفترة طويلة .

وأشهر ثلاث شركات معروفة لتطوير استخدام السيكلوترونات من كلي النوعين (السيكلوترون الطبي الحيوي والسيكلوترون الانتاجي) هي :

١ - س . جي . آر - مليون الكترون فولت :

معدلات الاداء (أنظر الجدول في الصفحة التالية).

BP 34-78530 BUC-France-956-8002-Telex 695-277F.

٢ - شركة السيكلوترون مع بيانات الاداء التالية :

الجسيم	س ب - ٣٠		س ب - ٤٢	
	طاقة الحزمة مليون الكترون فولت (أ)	تيار الحزمة ميكروأمبير خارجي	طاقة الحزمة مليون الكترون فولت (أ)	تيار الحزمة ميكروأمبير خارجي
بروتونات (يد⁻ داخلي)	٨ - ٣٠	٢٠٠	١١ - ٤٢	٢٠٠
ديترونات (د⁻ داخلي) (ب)	٥ - ١٧	٥٠	٦ - ٢٤	٥٠
ثبات الطاقة (fwhm)	١٪ (ج)		١٪ (ج)	
الحزمة المنبعثة الخارجية (د)	٣٠ مم - مللي راد أو أقل		٣٠ مم - مللي راد أو أقل	

تقديرات الاداء

الجسيم	٥٢٠ طاقة متغيرة	٦٧٠ طاقة متغيرة	٩٣٠ طاقة متغيرة	٩٣٠ إس طاقة متغيرة
مدى طاقة حزمة الأشعة:				
بروتونات	٣ - ٢٤	٥ - ٤٠	٦ - ٦٥	٦ - ٨٥
ديترونات	٣ - ١٥	٥ - ٢٥	١٠ - ٣٥	١٠ - ٥٠
هليوم^{3}	٧ - ٣١	٥ - ٦٦	٢٠ - ١٢٠	٢٠ - ١٣٠
جسيمات ألفا	١٠ - ٣٠	٥ - ٥٠	١٥ - ٧٠	١٥ - ١٠٠

تيار الأشعة المستخلص:

طاقة عظمى (ميكروأمبير)				
بروتونات	٦٠	٤٠	١٠	١٠
ديترونات	١٠٠	١٠٠	٥٠	٥٠
هليوم٣	٥٠	٤٠	١٠	١٠
جسيمات ألفا	٥٠	٥٠	١٠	١٠

تيار داخلي:

طاقة عظمى (ميكروأمبير)				
بروتونات	٢٠٠	٢٠٠	١٠٠	١٠٠
ديترونات	٣٠٠	٣٠٠	٢٠٠	٢٠٠
هليوم٣	١٠٠	١٠٠	٩٠	٩٠
جسيمات ألفا	١٠٠	١٠٠	٩٠	٩٠
طاقة الانحلال	< ١٪	< ١٪	< ٠ر٥٪	< ٠ر٥٪
حزمة الأشعة الخارجية المنبعثة	٥٠ مم - مر أو أقل	٥٠ مم - مر أو أقل	٦٠ مم - مر أو أقل	٦٠ مم - مر أو أقل

مم = ملليمتر

مر = مللي راد

ملاحظات:

أ - التفاوت المسموح به في قياس طاقة الحزمة كالآتي: تتراوح من ٠ر٥ مليون الكترون فولت عند النهاية المنخفضة (السفلى) لطاقة الحزمة وتصل الى ١ مليون الكترون فولت عند القمة.

ب - مقدرة تعجيل الديترون اختيارية.

ج - عند الطاقة العظمى.

د - انبعاثية الحزمة الخارجية (يعبر عنها بالمساحة الكلية للطور الحيزي) تقدر عند طاقة البروتون العظمى.

٩٥٠ شارع جلمان - بيركلي - كاليفورنيا - ٨٦٧٠ - ٥٢٤ - ٤١٥ تلكس ٧١١٦ - ٣٦٦ - ١٠ .

٣ - شركة سكاندي ترونكس **Scanditronix** :

بيانات الاداء

جسيم	إم . س - ٢٠		إم . س - ٣٥		إم . س - ٤٠	
	طاقة (م . إ . ف .)	تيار خارجي (ميكرو أمبير)	طاقة (م . إ . ف .)	تيار خارجي (ميكرو أمبير)	طاقة (م . إ . ف .)	تيار خارجي (ميكرو أمبير)
بروتونات	٣ - ٢٠	١٠٠	٢ - ٣٥	٦٥	٩ - ٤٠	٦٥
ديترونات	٥ر١ - ١٠	١٠٠	٨ر٣ - ١٨	٦٥	٥ر٤ - ٢٠	٦٥
هليوم٣	٣ - ٢٧	٣٠	٦ر٥ - ١٨	٣٠	٧ - ٥٣	٣٠
هليوم٤	٣ - ٢٠	٣٠	٥ر٧ - ٣٥	٣٠	٩ - ٤٠	٣٠

هزبي بورج - س - ٧٥٥٩٠ - أوبسالا - السويد
٨١٠١١٠١٢٠٨٠ . تليكس ٧٦٠٤٨ إس . سي . إكس . SCX

تختلف تقنية التشعيع بواسطة السيكلوترونات كلية عن تلك المستخدمة في المفاعلات النووية . وبصفة عامة يمكن استخدام نوعين رئيسيين من الطرق التقنية المتبعة في تشعيع الأهداف في المعجلات وهما : طريقة الهدف الداخلي ، طريقة تعريض الهدف لحزمة خارجية . وفي الطريقة الثانية يجب فصل الهدف المشعع عن نظام التفريغ في السيكلوترون بواسطة نافذة حزمة الأشعة والتي تغطي بصفيحة معدنية ذات سمك رقيق مناسب من أجل احداث إنقاص خفيف في الطاقة الأصلية للجسيمات المقذوفة . ويبقى الهدف المشعع تحت ظروف الضغط الجوي . وأثناء عملية القذف تنتج زيادة في الطاقة الحرارية

في حيز صغيرة (أكبر من ١ كيلووات/سم^{2}). وهذا يفسر تفضيل استخدام المعادن أو الأملاح ذات درجة الانصهار العالية عن السوائل والغازات والمركبات الكيميائية سريعة الانحلال أو التلف بفعل الحرارة. ولقد طورت امكانيات خاصة باستخدام حاضن (سناد) معدني يبرد بالماء ويتصل بالجهاز الملائم. أما التركيبات الضخمة فهي مزودة بأدوات وتجهيزات أتوماتيكية خاصة تمكن من التعامل والمعالجة والتشغيل من بعد داخل الخلايا ذات الحواجز الواقية. وكما هو الحال في المفاعلات النووية التي تنتج نظائر مشعة، يجب أن تزود الخلايا الحارة (الساخنة) بجهاز الانسان الآلي الذي يصدر وينفذ الأوامر، نافذة ذات حواجز واقية، وأجهزة وأدوات ومعدات كيميائية وميكانيكية مزودة بامكانيات خاصة للتحكم والسيطرة والمراقبة من بعد.

وعادة ما تكون النظائر المشعة المنتجة بواسطة السيكلوترونات من ذرات عنصر كيميائي مختلف عن ذرات العنصر المستخدمة في الهدف المشع. ولهذا السبب تكمن الصعوبة الكيميائية في فصل كمية ضئيلة جداً من النويدات المشعة عن الكمية الكبيرة من ذرات الهدف. وتكمن الصعوبة الثانية في قصر الفترة الزمنية المتاحة لاتمام الفصل الكيميائي وخاصة بالنظر الى قصر عمر النصف لبعض النظائر المشعة المنتجة بواسطة السيكلوترونات. وهكذا فان الطرق الرئيسية لعملية الفصل هي: التبادل الأيوني، الاستخلاص بالمذيبات، الترسيب المتجمع co-precipitation وسوف نذكر بالتفصيل بعض هذه الطرق في الباب القادم.

٣ ـ ٣ الطرق والتقنية المتبعة لتحضير النظائر المشعة:

سوف نذكر بالتفصيل طرق تحضير النظائر المشعة المختلفة، وتحدد طبيعة تكوين الأهداف المراد تشعيعها targets بالطريقة اللازمة للتحضير. وبالنسبة لكل نظير مشع منتج من المفاعل فان كمية النشاط الاشعاعي الناتج يحسب على

أساس أن معدل الفيض النيوتروني هو ١٠^١٤ نيوترون/ سم^-٢/ث^-١ خلال فترات التشعيع المختلفة.

هذه البيانات التي سنذكرها قد حسبت نظرياً وتم التأكد منها تجريبياً (عملياً) بالاستعانة بمعدل تدفق النيوترونات الحرارية في المفاعلات النووية البلجيكية والتي تمت معايرتها.

٣ ـ ٣ ـ ١ النظائر المشعة التي تنتج بواسطة المفاعل النووي:

صوديوم^٢٤:

التفاعل النووي: ص^٢٣ (ن، ɣ) ص^٢٤ (نسبة وفرة النظير ١٠٠٪).

الأهداف: كربونات الصوديوم ـ بيكربونات الصوديوم ـ كلوريد الصوديوم (مع ملاحظة ازالة الماء بالتسخين على درجة ١٥٠° م).

معدل التدفق النيوتروني: من ١٠^١٢ الى ١٠^١٤ نيوترون/سم^-٢/ث^-١.

النشاط الاشعاعي الناتج: ١٠ ملليكوري/ مجم ص عند معدل تدفق نيوتروني ١٠^١٤ نيوترون/ سم^-٢/ث^-١ بعد فترة تشعيع قدرها ٦ ساعات (شكل ٧).

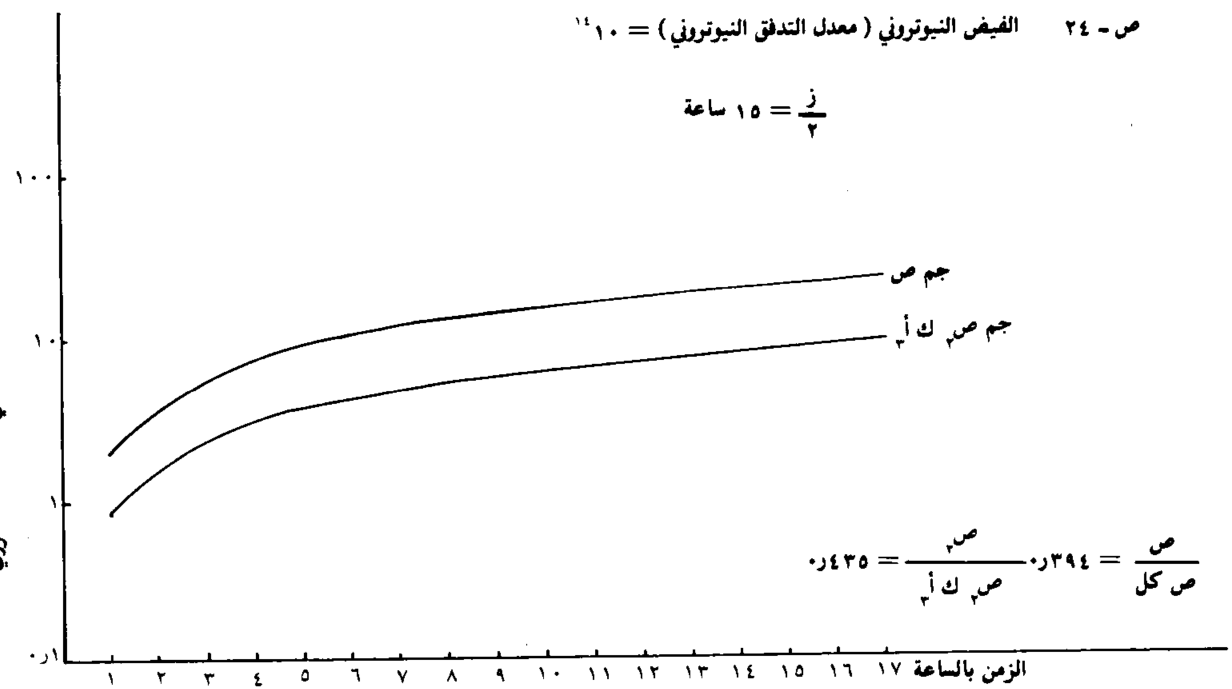
طريقة التحضير:

أ ـ باستخدام كربونات الصوديوم أو بيكربونات الصوديوم:

أذب كربونات الصوديوم أو بيكربونات الصوديوم في كأس زجاجي وذلك في محلول مخفف من حامض الايدروكلوريك (تركيزة ٣ر٠ عياري).

سخّن محتويات الكأس على سخان ذي محرك مغناطيسي الى درجة الغليان.

اضبط درجة الحموضة (الرقم الايدروجيني) للمحلول ما بين ٥ر٥ ـ ٥ر٦ باستخدام محلول عياري من ايدروكسيد الصوديوم ـ استخدم في المعايرة محلولا



ص - ٢٤ الفيض النيوتروني (معدل التدفق النيوتروني) = ١٠^١٤
ز/٢ = ١٥ ساعة
كمية النشاط الاشعاعي
كوري
١٠٠
١٠
١
٠٫١
جم ص
جم ص٢ ك أ٣
ص / ص كل = ٠٫٣٩٤ ص٢ / ص٢ ك أ٣ = ٠٫٤٣٥
الزمن بالساعة
١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ٧ ٨ ٩ ١٠ ١١ ١٢ ١٣ ١٤ ١٥ ١٦ ١٧

(شكل ٧)

عيارياً من ايدروكسيد البوتاسيوم بدلا من ايدروكسيد الصوديوم اذا ما كانت درجة النشاط النوعي specific activity موضوعة في الاعتبار. بعد انتهاء التعادل أحسب حجم المحلول المتواتر isotonic على أساس تركيز كل من أيونات الصوديوم (ص)+ والكلوريد (كل)- وخفف المحلول باستخدام ماء مقطر معقم حتى تصل الى هذا الحجم. وفي حالة تحضير الصوديوم٢٤ اللازم للاستخدام في مجال العقاقير المشعة (المواد الصيدلية المشعة) تجري عملية التعقيم باستخدام الاتوكلاف (المحضن) على درجة ١٢٠° م لمدة ٢٠ دقيقة.

ب ـ باستخدام كلوريد الصوديوم كهدف:

يستخدم ملح كلوريد الصوديوم في حالة تحضير نويدات مشعة على درجة عالية جداً من النقاوة وخاصة تركيزات قليلة جداً من البوتاسيوم المشع ـ ٤٢. ومن أجل ازالة الشوائب من نظائر الكلوريد المشع٣٦ والكلوريد المشع٣٨ والفوسفور المشع٣٢ والكبريت المشع٣٢، دع المحلول الذي يحتوي على أيونات الصوديوم (ص)+ يمر خلال السطح التبادلي لعمود من الراتنج resin فيحتفظ بأيونات الصوديوم وذلك عند درجة حموضة منخفضة (رقم ايدروجيني منخفض). اغسل بالماء المقطر ثم اطرد أيونات الصوديوم المشع٢٤ من السطح التبادلي باستخدام محلول ٦ عياري من حامض يد كل. سخن الراشح من محلول يد كل الى الجفاف وكرر تلك العملية (الاذابة والتسخين) مرتين باستخدام قليل من الماء المقطر. أذب الراسب النهائي الجاف من ماء مقطر ثم اضبط التركيز الايزوتوني isotonic باستخدام محلول من ص كل أو بو كل.

بوتاسيوم٤٢:

التفاعل النووي: بو٤١ (ن، ٥) بو٤٢ (نسبة الوفرة للنظير ١٠٠٪).

الأهداف: كربونات البوتاسيوم ـ كلوريد البوتاسيوم.

الفيض النيوتروني: من ١٠^١٢ الى ١٠^١٤ نيوترون/سم$^{-2}$/ث$^{-1}$.

النشاط الاشعاعي الناتج: ١ ملليكوري/مجم بو بعد فترة تشعيع قدرها ٦ ساعات . ومعدل تدفق نيوتروني قدره ١٠^١٤ نيوترون/ سم$^{-2}$/ث$^{-1}$ (شكل ٨) .

طريقة التحضير: مثلما سبق ذكره في تحضير الصوديوم المشع ٢٤ .

برومين ٨٢ :

التفاعل النووي: بر ٨٠ (نيو ، ﻫ) بر ٨٢ (نسبة الوفرة للنظير ٥ر٤٩٪) .

الأهداف: ص بر - بوبر ولكن تجنبا للتنشيط الاشعاعي لكل من الصوديوم والبوتاسيوم وبصفة عامة يستخدم ن يد$_٤$ بر .

الفيض النيوتروني: من ١٠^١٢ الى ١٠^١٤ نيوترون/سم$^{-2}$/ث$^{-1}$.

النشاط الاشعاعي الناتج: ٦ ملليكوري/جم بر بعد فترة تشعيع قدرها ١٠ساعات وعند معدل تدفق نيوتروني قدره ١٠^١٤ نيوترون/ سم$^{-2}$/ث$^{-1}$ (شكل ٩) .

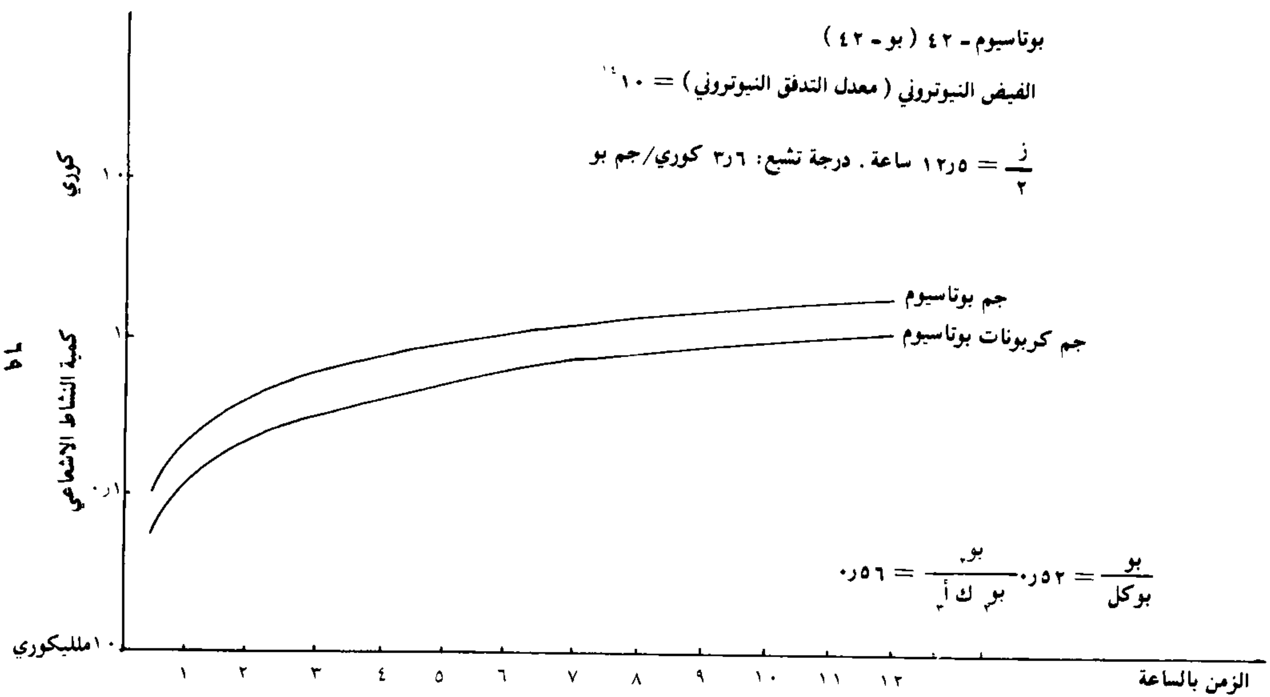
قبل التحضير: بعد انتهاء التشعيع يجب تركها لأكثر من يوم وذلك لانقاص المحتوى من نظير البروم - ٨٠ (٤ر٤ ساعة) .

طريقة التحضير: أذب الملح الذي تم تشعيعه في الماء المقطر .

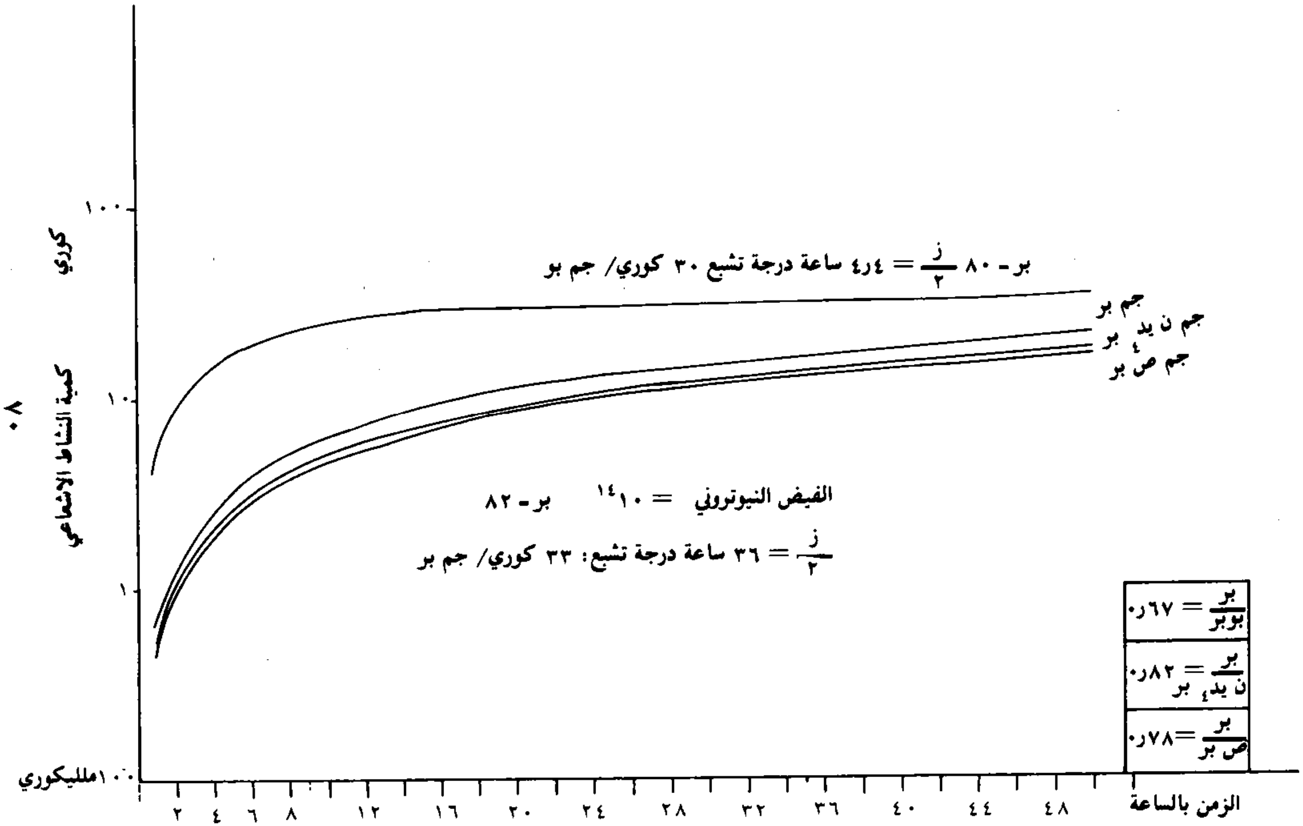
اضبط من الرقم الايدروجيني والمحتوى الايزوتوني isotopic باستخدام محلول عياري من ص أيد أو ص كل . بعد الضبط تدخل العينة الى الاوتوكلاف (المحضن) في حالة تحضير المستحضرات الصيدلية المشعة (العقاقير المشعة) .

روبيديوم ٨٦ :

التفاعل النووي: روبيديوم ٨٥ (ن ، ﻫ) روبيديوم ٨٦ (نسبة الوفرة للنظير ١٥ر٧٢٪) .


بوتاسيوم - ٤٢ (بو - ٤٢)
الفيض النيوتروني (معدل التدفق النيوتروني) = ١٠^١٤
ز/٢ = ١٢٫٥ ساعة . درجة تشبع: ٣٫٦ كوري/جم بو
كوري
١٠
١
٠٫١
١٠ مللیکوري
كمية النشاط الإشعاعي
ط٨
جم بوتاسيوم
جم كربونات بوتاسيوم
بو/بوكل = ٠٫٥٢ — بو/بو ك أ = ٠٫٥٦
١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ٧ ٨ ٩ ١٠ ١١ ١٢
الزمن بالساعة

(شكل ٨)


كمية النشاط الاشعاعي كوري
١٠٠
١٠
١
١٠٠ ملليكوري
بر - ٨٠ ز/٢ = ٤ر٤ ساعة درجة تشبع ٣٠ كوري/ جم بر
جم بر
جم ن يد٤ بر
جم ص بر
الفيض النيوتروني = ١٠^١٤ بر - ٨٢
ز/٢ = ٣٦ ساعة درجة تشبع: ٣٣ كوري/ جم بر
بر/بوبر = ٦٧ر٠
بر/ن يد٤ بر = ٨٢ر٠
بر/ص بر = ٧٨ر٠
٢ ٤ ٦ ٨ ١٢ ١٦ ٢٠ ٢٤ ٢٨ ٣٢ ٣٦ ٤٠ ٤٤ ٤٨
الزمن بالساعة

(شكل ٩)

الأهداف : كربونات الروبيديوم ـ كلوريد الروبيديوم .

الفيض النيوتروني : من $١٠^{١٣}$ الى ٢ × $١٠^{١٤}$ نيوترون/سم$^{-٢}$/ث$^{-١}$.

النشاط الاشعاعي الناتج : ٤ ملليكوري/مجم روبيديوم بعد فترة تشعيع قدرها ١٠ أيام وبفيض نيوتروني قدره $١٠^{١٤}$ نيوترون/ سم$^{-٢}$/ث$^{-١}$ (شكل ١٠ ، شكل ١١) .

طريقة التحضير : تشبه ما سبق ذكره في تحضير الصوديوم المشع٢٤ ، والبوتاسيوم المشع٤٢ .

كالسيوم٤٥ :

التفاعل النووي : كا^{٤٤} (ن ، ه) كا^{٤٥} نسبة الوفرة للنظير ٢ر٠٦٪ .

الأهداف : كربونات الكالسيوم المثراة enriched الى ١٠٠٪ كا^{٤٤} .

الفيض النيوتروني : من $١٠^{١٤}$ الى ٢ × $١٠^{١٤}$ نيوترون/سم$^{-٢}$/ث$^{-١}$.

النشاط الاشعاعي الناتج : ٢ كوري/جم عقب فترة تشعيع قدرها ٢٠ يوما وفيض نيوتروني قدره $١٠^{١٤}$ نيوترون/سم$^{-٢}$/ث$^{-١}$ (شكل ١٢) .

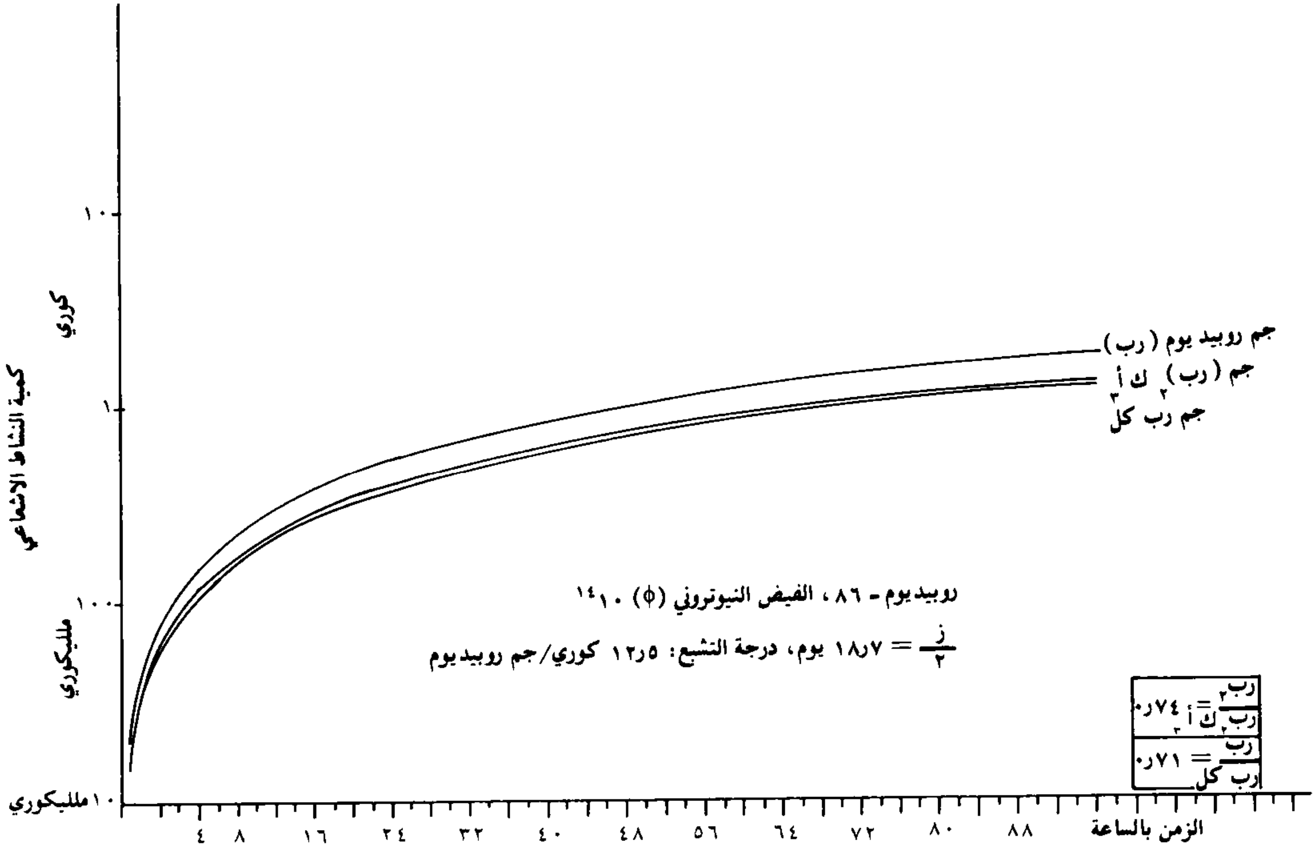
كالسيوم٤٧ :

التفاعل النووي : كا^{٤٦} (ن ، δ) كا^{٤٧} (نسبة الوفرة للنظير ٠ر٠٣٣٪) .

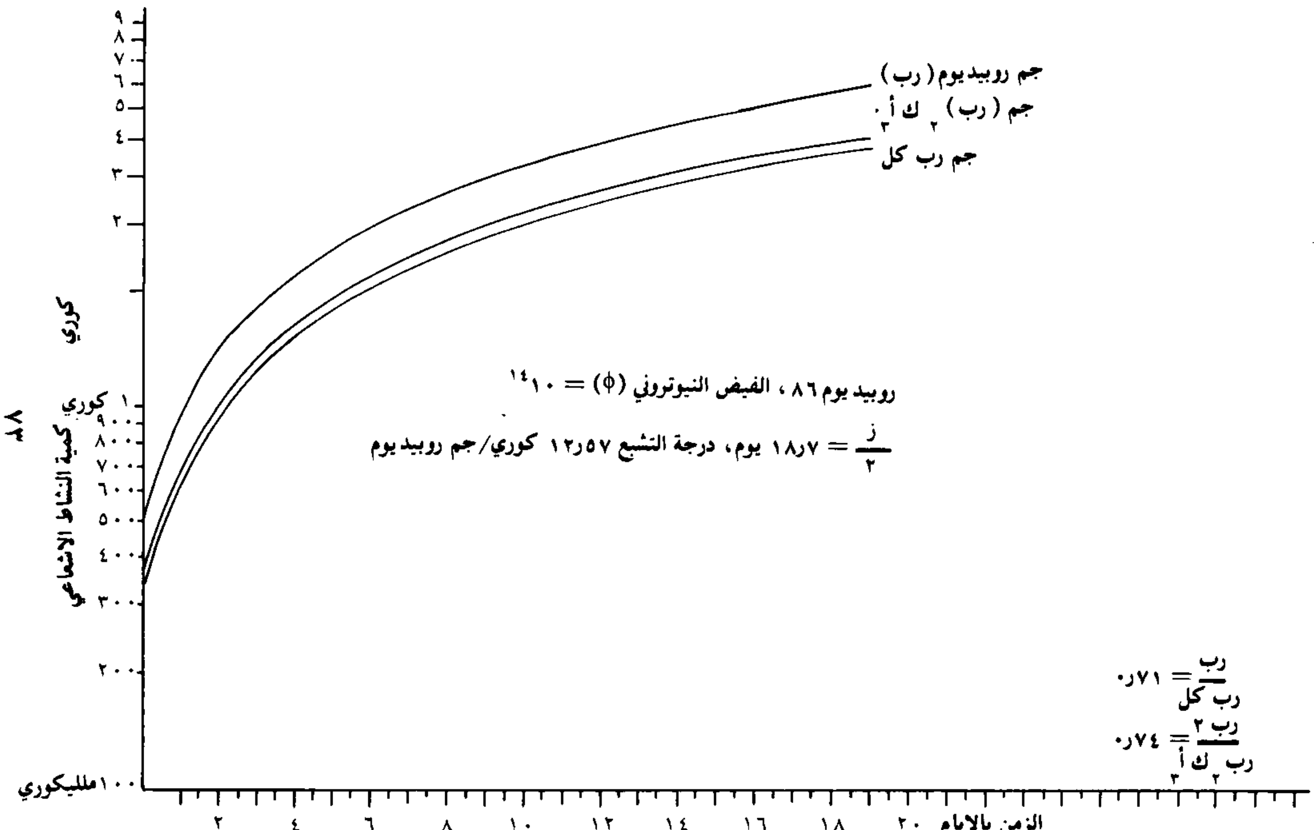
الأهداف : كربونات الكالسيوم مثراة الى نسبة ٤٠٪ كالسيوم٤٦ (حد أدنى) يجب ملاحظة أن نسبة نظير كالسيوم٤٤ الى نظير الكالسيوم٤٦ أقل من ٠ر٢ .

الفيض النيوتروني : أقصى معدل تدفق نيوتروني ممكن .

النشاط الاشعاعي الناتج : ١٤ ملليكوري/مجم وذلك للأهداف المثراة الى نسبة ٤٣ر٤٪ من الكالسيوم٤٦ لفترة تشعيع قدرها ٥ أيام وفيض نيوتروني ٢ر٢

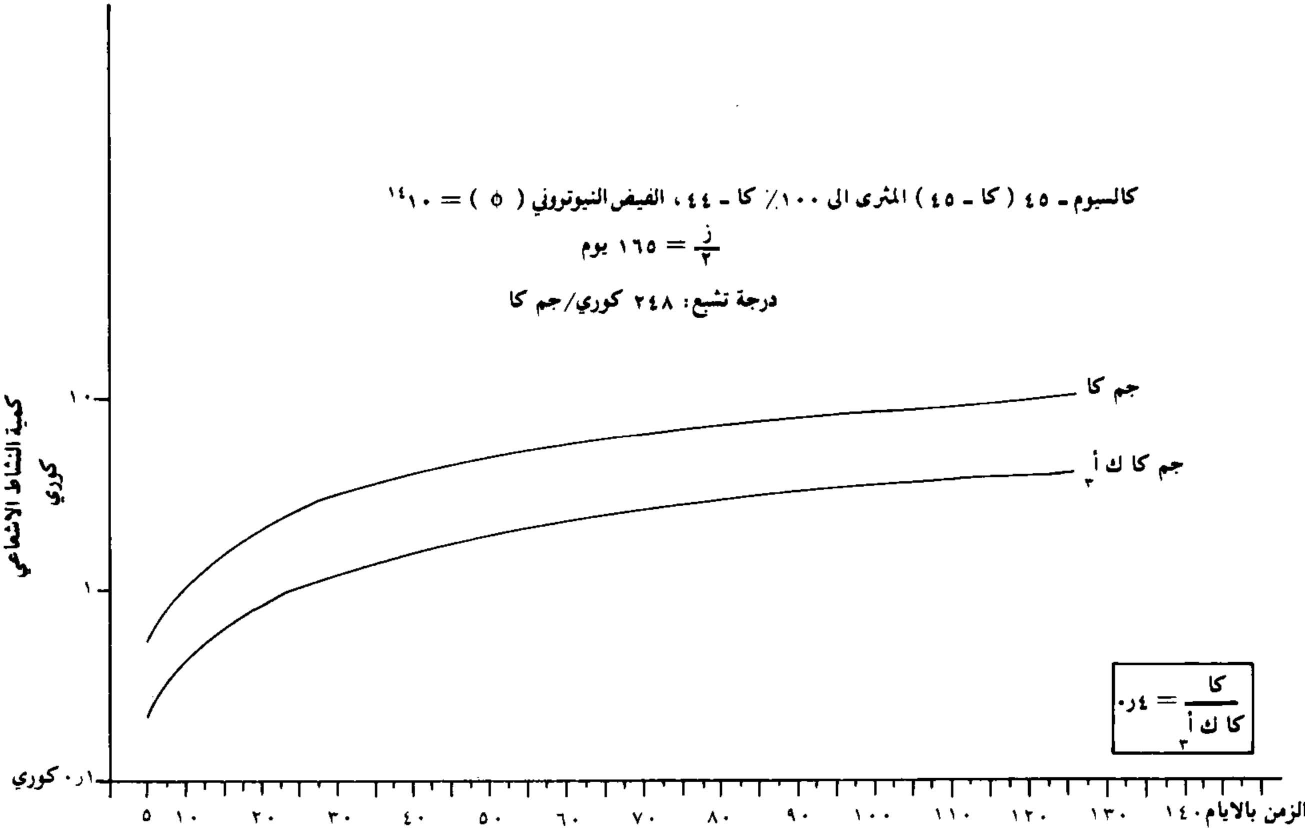

كمية النشاط الاشعاعي
كوري
١٠
١
ملليكوري
١٠٠
١٠ ملليكوري
جم روبيد يوم (رب)
جم (رب)٢ ك أ٣
جم رب كل
روبيديوم - ٨٦ ، الفيض النيوتروني (ф) ١٠^١٤
ز/٢ = ١٨٫٧ يوم، درجة التشبع: ١٢٫٥ كوري/جم روبيديوم
رب٢ / رب٢ ك أ٣ = ٠٫٧٤
رب / رب كل = ٠٫٧١
٤
٨
١٦
٢٤
٣٢
٤٠
٤٨
٥٦
٦٤
٧٢
٨٠
٨٨
الزمن بالساعة

(شكل ١٠)



جم روبيديوم (رب)
جم (رب) ٢ ك أ ٣
جم رب كل
روبيديوم ٨٦ ، الفيض النيوتروني (ϕ) = ١٠ ١٤
ز/٢ = ١٨ر٧ يوم، درجة التشبع ١٢ر٥٧ كوري/جم روبيديوم
رب/رب كل = ٠ر٧١
رب ٢/رب ٢ ك أ ٣ = ٠ر٧٤
كمية النشاط الاشعاعي ٨٨
كوري
١ كوري
١٠٠ ملليكوري
الزمن بالايام

(شكل ١١)


كالسيوم ـ ٤٥ (كا ـ ٤٥) المثرى الى ١٠٠٪ كا ـ ٤٤، الفيض النيوتروني (ф) = ١٠^١٤
ز/٢ = ١٦٥ يوم
درجة تشبع: ٢٤٨ كوري/جم كا
جم كا
جم كا ك أ٣
كا / كا ك أ٣ = ٤ر٠
كمية النشاط الاشعاعي كوري
١٠
١
١ر٠ كوري
الزمن بالايام
٥ ١٠ ٢٠ ٣٠ ٤٠ ٥٠ ٦٠ ٧٠ ٨٠ ٩٠ ١٠٠ ١١٠ ١٢٠ ١٣٠ ١٤٠

(شكل ١٢)

× ١٠^{١٤} نيوتروني/سم$^{-٢}$/ث$^{-١}$. (شكل ١٣).

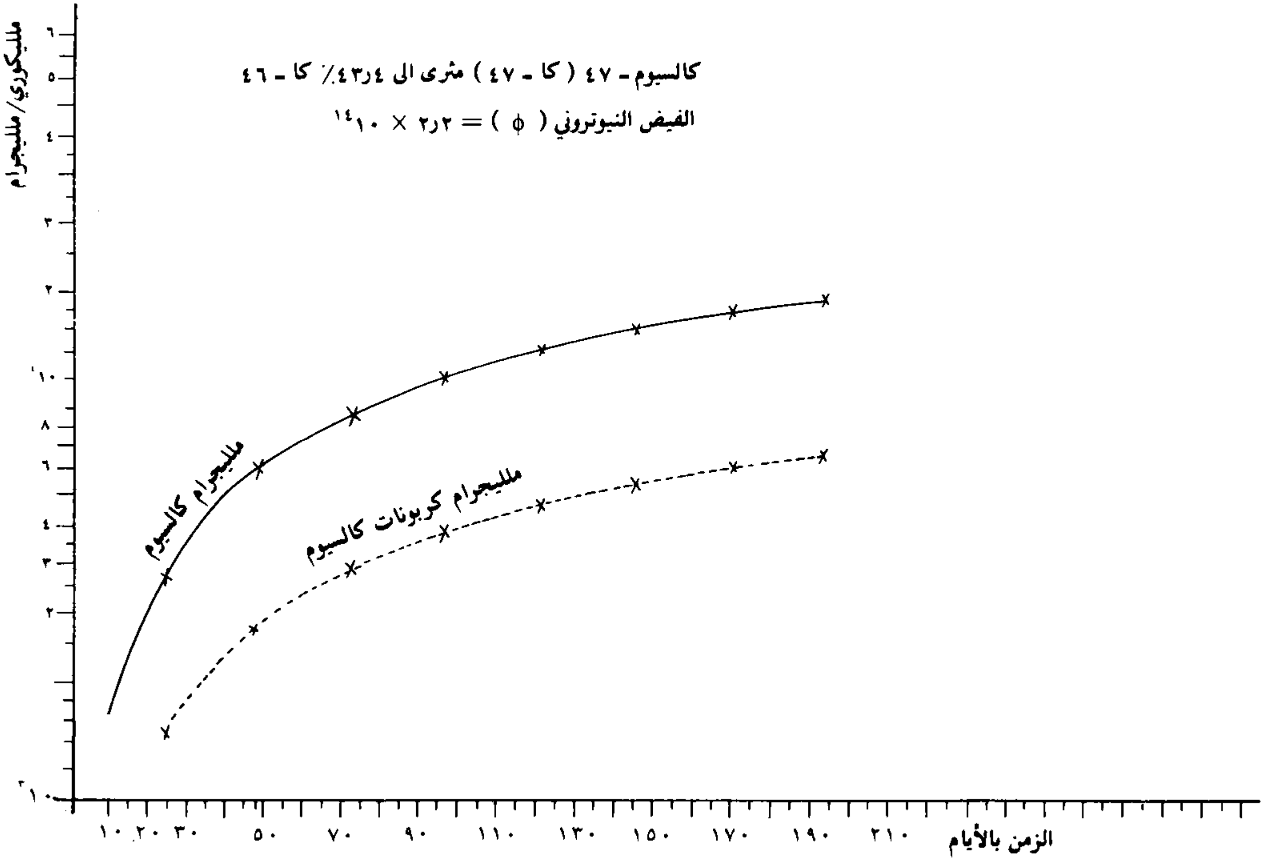
درجة النقاوة للنويدات المشعة: أقل من ٥٪ من الكالسيوم المشع٤٥ عند وقت المعايرة. والمحتوي من الكالسيوم^{٤٤} في الأهداف المشععة يجب أن يكون محدوداً، لكي تتاح الفرصة للاستخدام لفترة قدرها ٥ أيام بعد التشعيع.

جدول يبين درجة النشاط الاشعاعي للكالسيوم٤٥ الموجودة في تحضيرات الكالسيوم٤٧ (محسوبة كنسبة مئوية من كمية النشاط الاشعاعي)

نسبة كا٤٤/كا٤٦ في الهدف المشع	كا٤٥/كا٤٧ (كنسبة مئوية)		زمن التشعيع (بالأيام) ٢ × ١٠^{١٤} ن/سم$^{-٢}$/ث$^{-١}$ نيوترونات حرارية			وقت المعايرة (٥ أيام بعد فترة تشميع لمدة أيام)
	١	٣	٥	٩	١١	
٨ر٦	٦٨ر٨	٦٦ر٩	٩١ر٤	١٢٧ر٨	١٤٧ر١	١٨٠
٢ر٩	٢٣ر٠	٢٢ر٣	٣١ر٧	٤٣ر٩	٥٠ر٧	٦٢
٠ر٥٣	٤ر٣	٤ر٢	٥ر٧	٧ر٩	٩ر١	١٠
٠ر١٩	١ر٧	١ر٥	٢ر١	٢ر٩	٣ر٣	٤
٠ر٠٩	٠ر٨	٠ر٧٥	٠ر٩٥	١ر٣٣	١ر٦	١ر٨

كروميوم٥١:

يتم انتاج الكروميوم المشع٥١ عادة بواسطة تشعيع الكروميوم٥٠المثرى وذلك عند فيض نيوتروني أعلى من ١٠^{١٤} ن/سم$^{-٢}$/ث$^{-١}$. وفي حالة فيض نيوتروني منخفض تستخدم طريقة زيلارد شالمرز Szilard Chalmers للحصول على نفس المدى من درجة النشاط النوعي (من ٥٠ ـ ١٠٠ كوري/جم).


كالسيوم - ٤٧ (كا - ٤٧) مثرى الى ٤٣ر٤٪ كا - ٤٦
الفيض النيوتروني (ϕ) = ٢ر٢ × ١٠^١٤
مليكوري/ مليجرام
مليجرام كالسيوم
مليجرام كربونات كالسيوم
الزمن بالأيام
١٠ ٢٠ ٣٠ ٥٠ ٧٠ ٩٠ ١١٠ ١٣٠ ١٥٠ ١٧٠ ١٩٠ ٢١٠

(شكل ١٣)

وتختلف المواد التي تستخدم كأهداف تشعيع لانتاج الكروميوم المشع٥١ فقد تكون كرومات البوتاسيوم أو بيكرومات البوتاسيوم أو كروميوم سداسي الكربونيل. وقد استخدمت فقط طريقة التشعيع المباشر للكروميوم٥٠ المثرى.

التفاعل النووي: كروميوم٥٠ (ن ، ϑ) كروميوم٥١ (نسبة الوفرة للنظير ٣ر٤٪).

الأهداف: معدن الكروميوم أو $كر_٢ أ_٣$ المثرى الى ± ١٠٠٪ من نظير الكروميوم٥٠ .

الفيض النيوتروني: تتراوح من$١٠^{١٤}$ الى ٢ × $١٠^{١٤}$ نيوترون/$سم^{-٢}$/$ث^{-١}$.

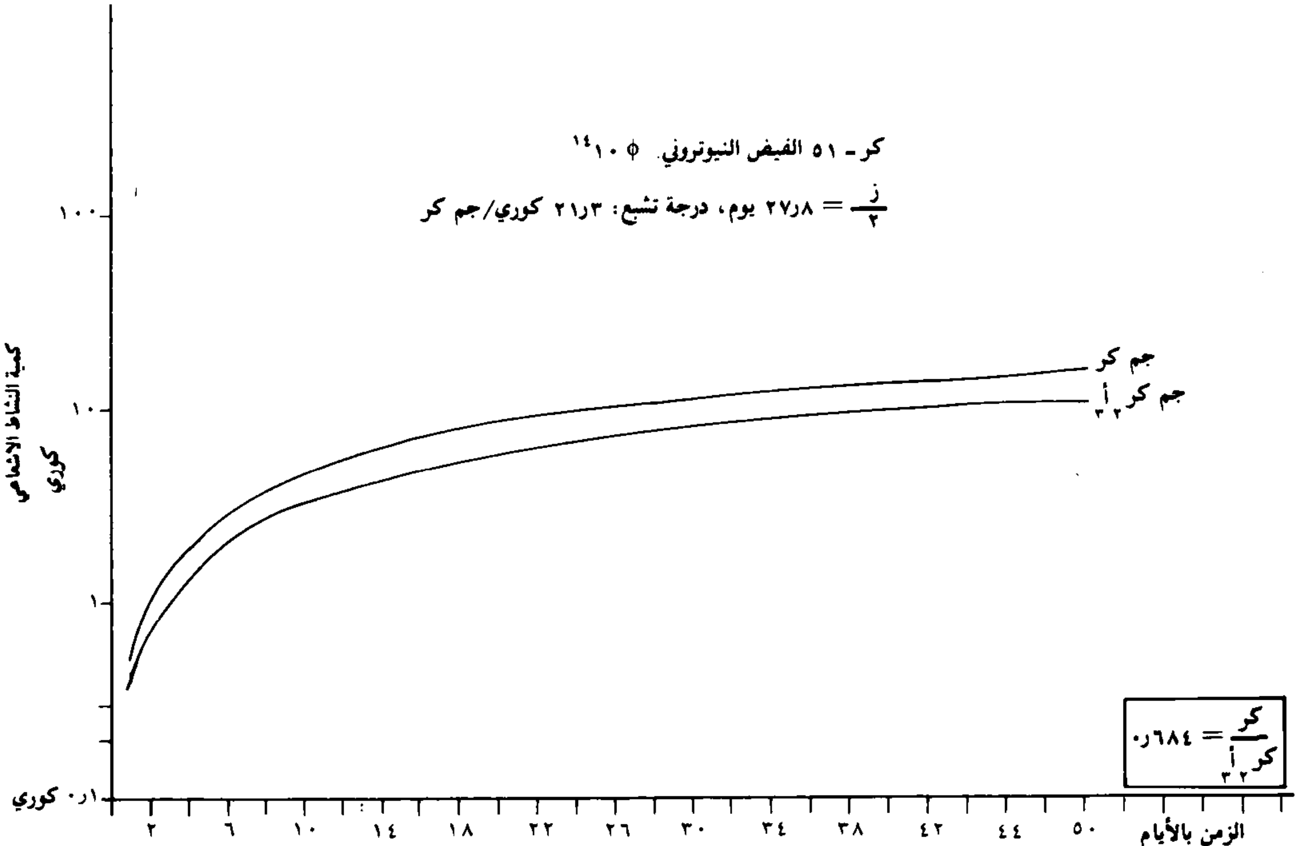
النشاط الاشعاعي الناتج: ٥ر٤ كوري/جم كر في حالة استخدام الكروميوم الطبيعي كهدف (شكل ١٤).

١٠٠ كوري/جم كر في حالة استخدام الكروميوم المثرى كهدف (شكل ١٥).

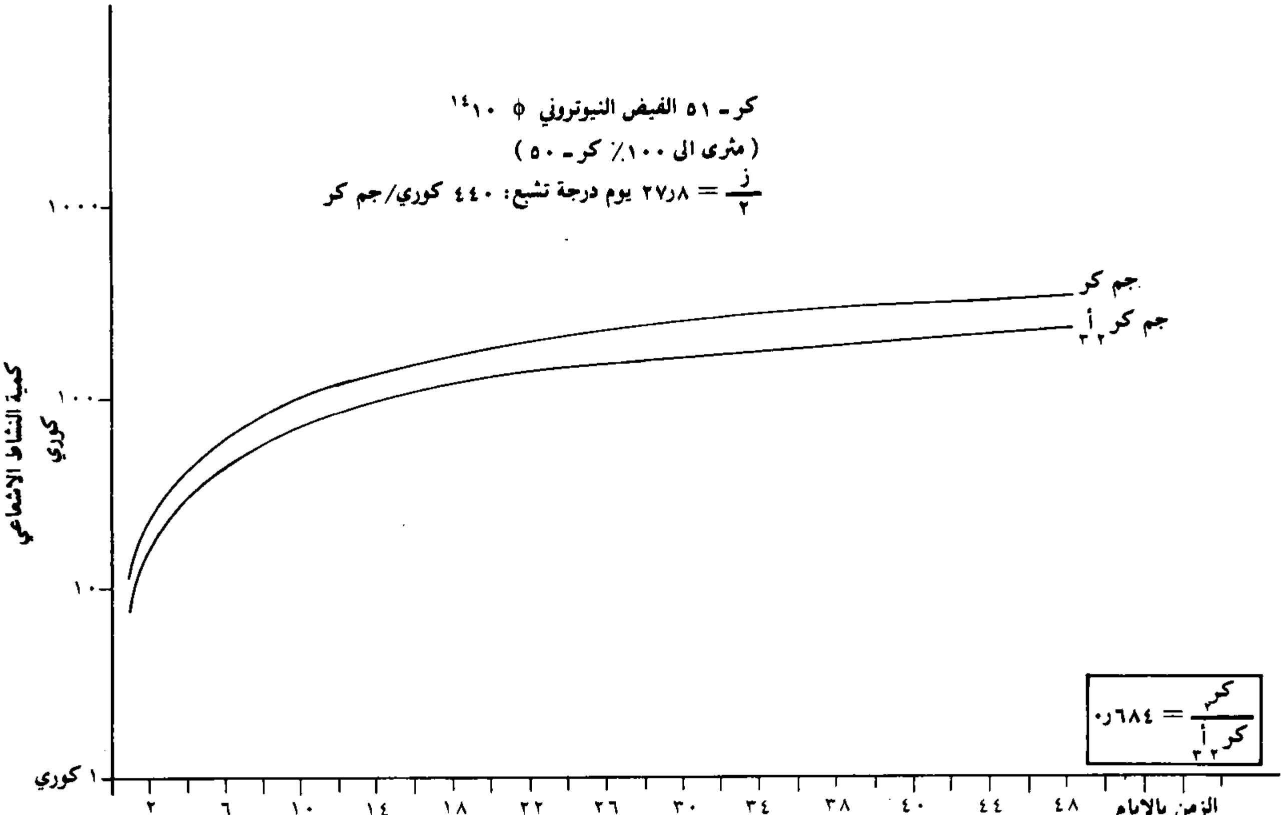
طريقة التحضير:

ـ أذب معدن الكروميوم في محلول عياري من حامض يد كل مع التسخين. أما في حالة استخدام $كر_٢ أ_٣$ كهدف فيستخدم حامض البيروكلوريك. ويحفظ المحلول الناتج أي $كركل_٣$ عند رقم ايدروجيني حمض.

ـ أما في حالة استخدام الكرومات فيستخدم المحلول السابق في الاذابة ثم تتم عملية التعادل باستخدام $ص_٢أ_٢$ حتى يصبح الرقم الايدروجيني ما بين ٥ ـ ٥ر٥ . ويمكن الحصول على محلول ايزوتوني باضافة ماء مقطر حتى نحصل على محلول تركيزه ٩ نانوجرام من ص كل/مل (إحسب الوزن الكلي من ص كل المتكون من اضافة من $ص_٢ أ_٢$).


كر - ٥١ الفيض النيوتروني ϕ ١٠^١٤
ز/٢ = ٨ر٢٧ يوم، درجة تشبع: ٣ر٢١ كوري/جم كر
كمية النشاط الاشعاعي
كوري
١٠٠
١٠
١
١ر٠ كوري
جم كر
جم كر٢أ٣
كر/كر٢أ٣ = ٦٨٤ر٠
٢
٦
١٠
١٤
١٨
٢٢
٢٦
٣٠
٣٤
٣٨
٤٢
٤٤
٥٠
الزمن بالأيام

(شكل ١٤)


كر ـ ٥١ الفيض النيوتروني ϕ ١٠^١٤
(مثرى الى ١٠٠٪ كر ـ ٥٠)
ز/٢ = ٨ر٢٧ يوم درجة تشبع: ٤٤٠ كوري/جم كر
جم كر
جم كر٢أ٣
كمية النشاط الاشعاعي كوري
١٠٠٠
١٠٠
١٠
١ كوري
٢ ٦ ١٠ ١٤ ١٨ ٢٢ ٢٦ ٣٠ ٣٤ ٣٨ ٤٠ ٤٤ ٤٨
الزمن بالايام
كر / كر٢أ٣ = ٦٨٤ر٠

(شكل ١٥)

منجنيز ٥٦ :

التفاعل النووي : من منجنيز٥٥ (ن ، ﻫ) من منجنيز٥٦ (نسبة وفرة للنظير ١٠٠٪).

الهدف : أكسيد المنجنيز.

الفيض النيوتروني والنشاط الاشعاعي الناتج : (شكل ١٦).

حديد ٥٥ ، حديد ٥٩ :

التفاعلات النووية :

ح٥٤ (ن ، ﻫ) ح٥٥ (نسبة الوفرة للنظير ٨ر٥٪).

ح٥٨ (ن ، ﻫ) ح٥٩ (نسبة الوفرة للنظير ٤١ر٠٪).

الهدف : أكسيد الحديديك المثرى.

الفيض النيوتروني والنشاط الاشعاعي الناتج (١٠٠٪ تثرية) :-

ح٥٥ : ٦ كوري/جم وفترة تشعيع قدرها ١٠ أيام بفيض نيوتروني قدره ١٠^١٤ نيوترون/سم^-٢/ث^-١ (شكل ١٧).

ح٥٩ : ٦ر٤ كوري/جم وفترة تشعيع قدرها ١٠ أيام بفيض نيوتروني قدره ١٠^١٤ نيوترون/سم^-٢/ث^-١ (شكل ١٨).

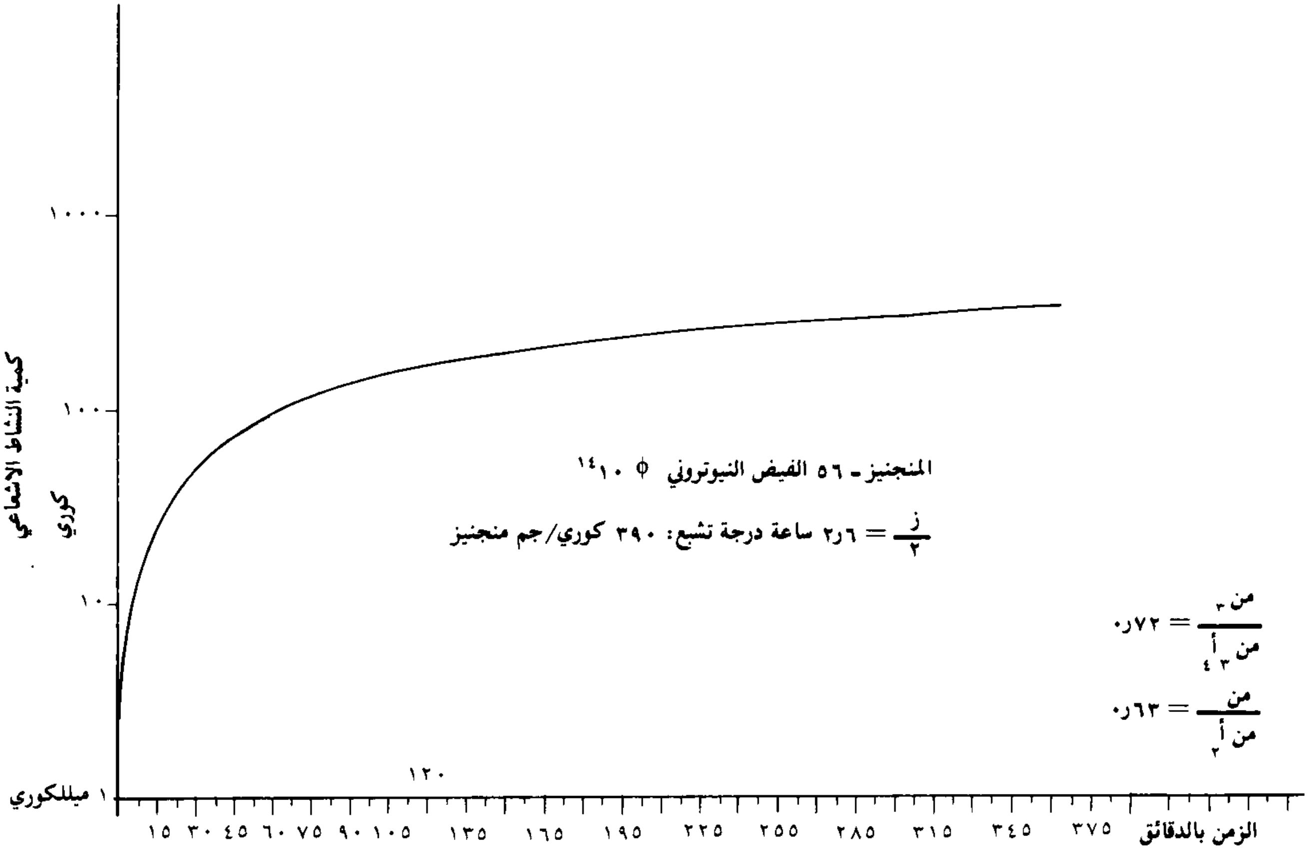
كوبلت ٦٠ :

التفاعل النووي : كوبلت٥٩ (ن ، ﻫ) كوبلت٦٠ (نسبة الوفرة للنظير ١٠٠٪).

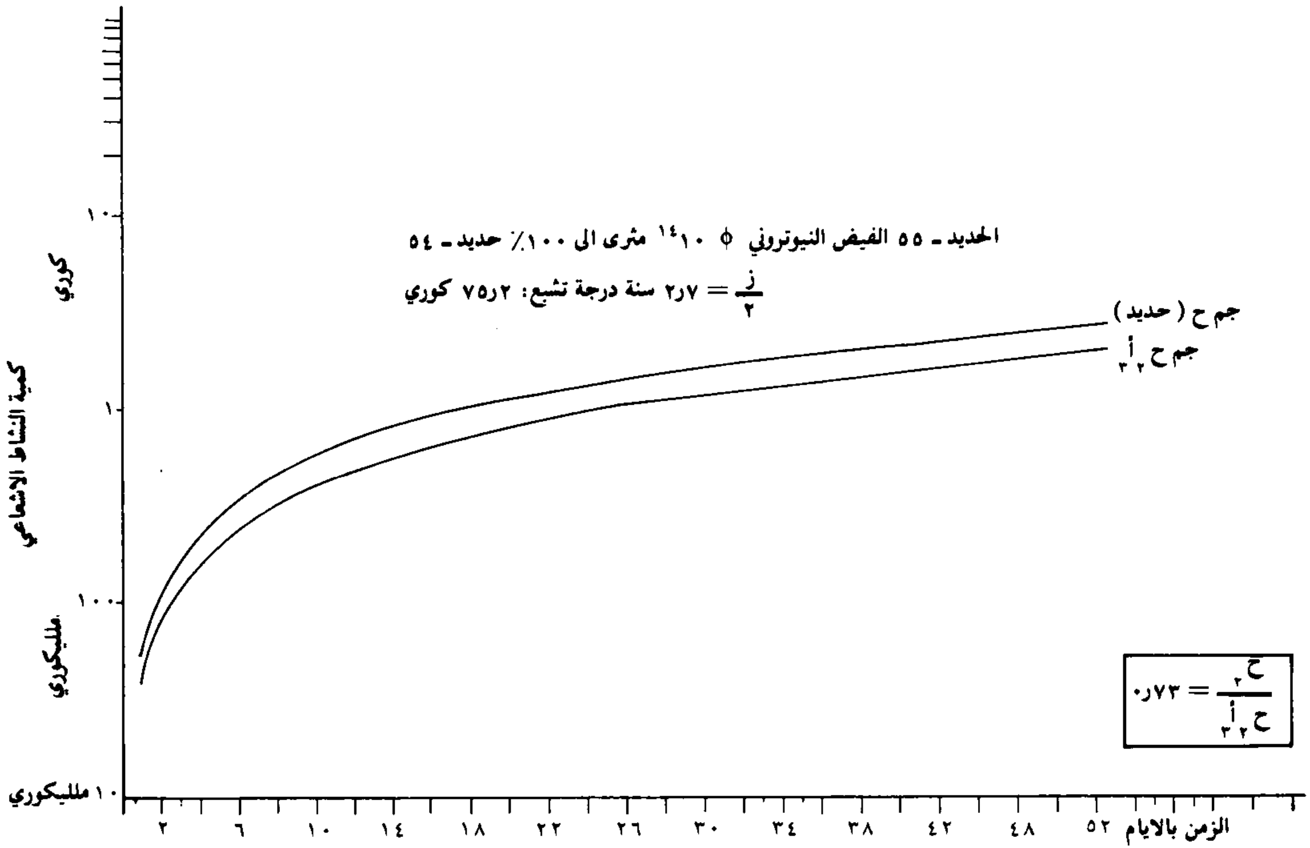
الهدف : معدن الكوبلت على هيئة (رقائق - أقراص - حبات).

النشاط الاشعاعي الناتج : ٧ كوري/جم لفترة تشعيع قدرها ٢٠ يوم وفيض نيوتروني ١٠^١٤ نيوترون/سم^-٢/ث^-١ (شكل ١٩).

ولكي نحصل على كمية نشاط اشعاعي قدره ٥٠ كوري/جم (للغرض

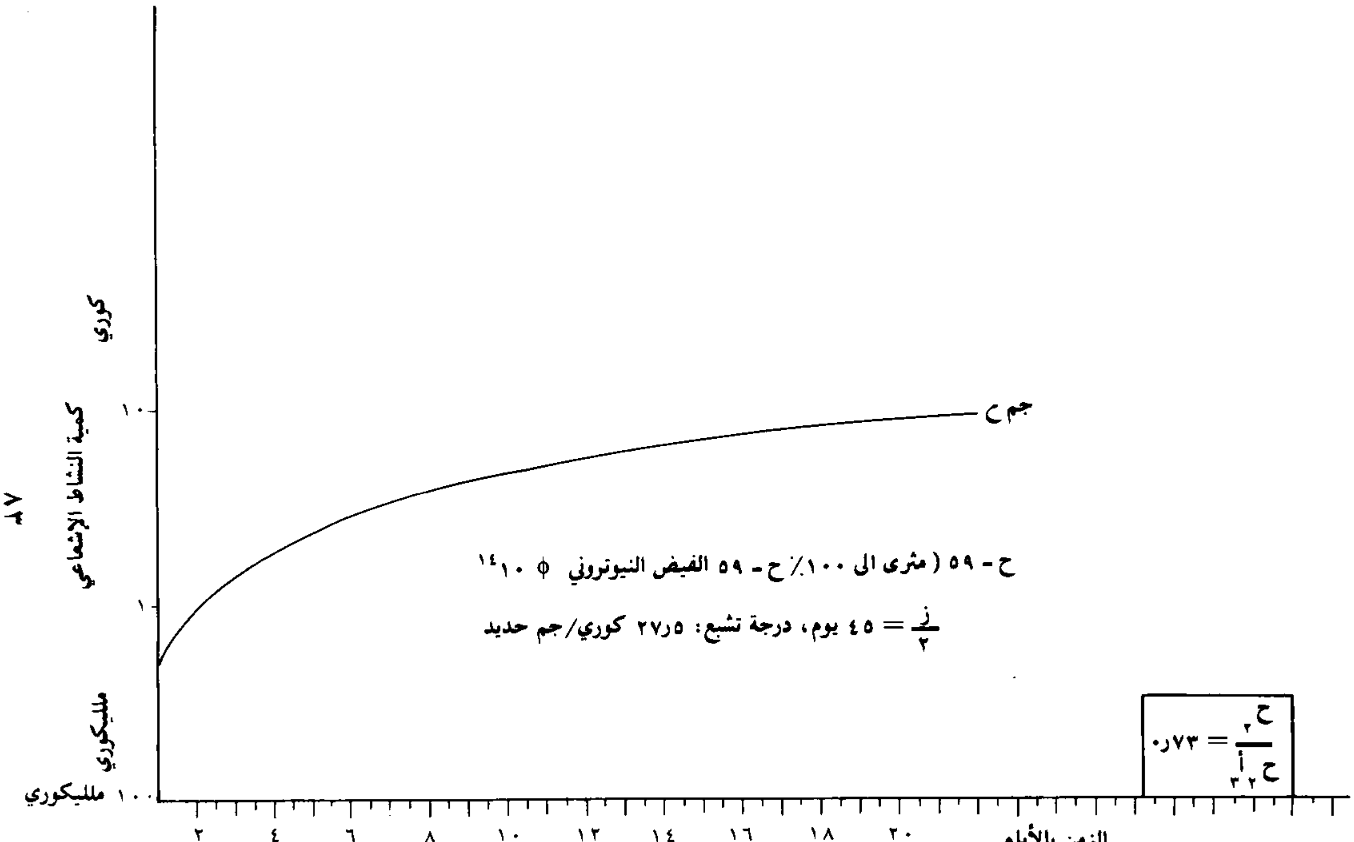

كمية النشاط الاشعاعي
كوري
١٠٠٠٠
١٠٠٠
١٠
١ ميللكوري
المنجنيز - ٥٦ الفيض النيوتروني Φ ١٠^١٤
ز/٢ = ٢ر٦ ساعة درجة تشبع: ٣٩٠ كوري/جم منجنيز
من٣ / من أ٣ ٤ = ٧٢ر٠
من / من أ٢ = ٦٣ر٠
١٢٠
١٥ ٣٠ ٤٥ ٦٠ ٧٥ ٩٠ ١٠٥ ١٣٥ ١٦٥ ١٩٥ ٢٢٥ ٢٥٥ ٢٨٥ ٣١٥ ٣٤٥ ٣٧٥
الزمن بالدقائق

(شكل ١٦)



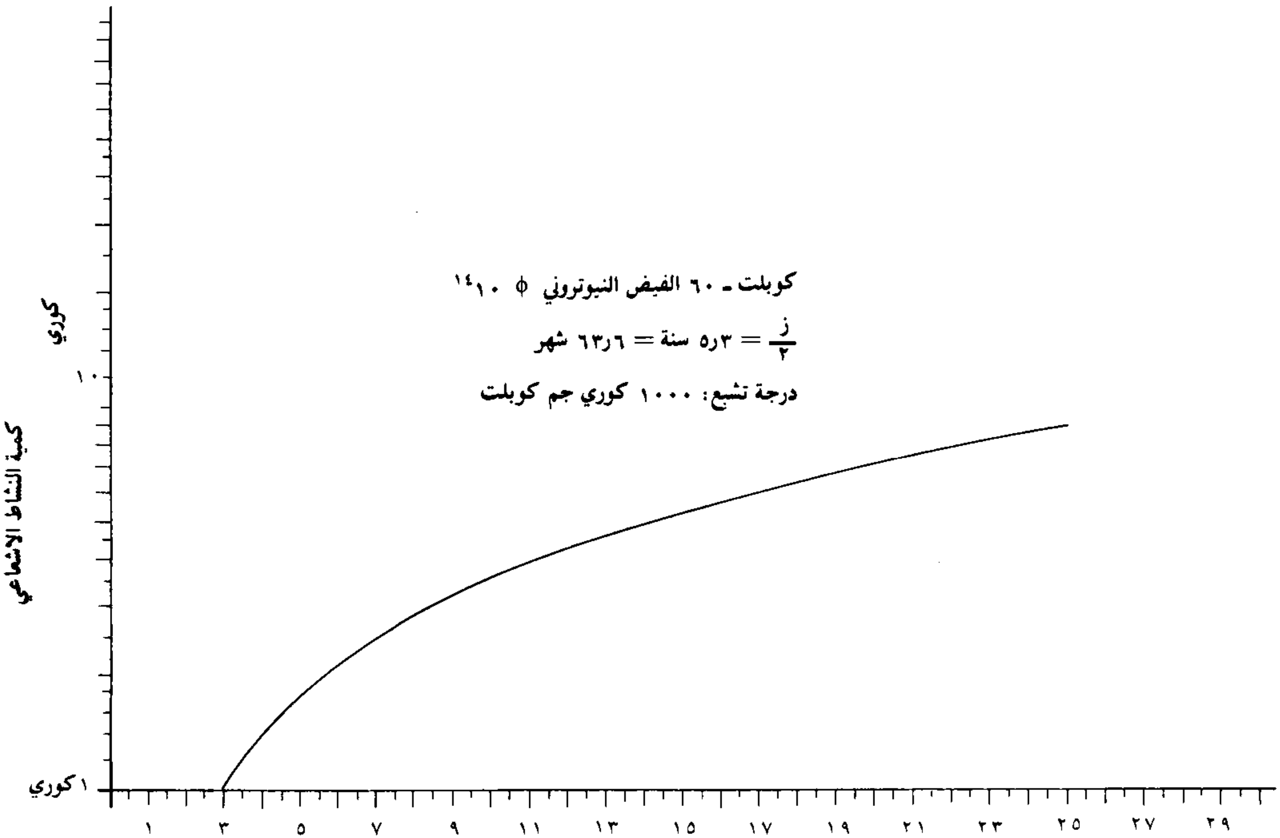
الحديد ـ ٥٥ الفيض النيوتروني ϕ ١٠^١٤ مترى الى ١٠٠٪ حديد ـ ٥٤
ز/٢ = ٢ر٧ سنة درجة تشبع: ٢ر٧٥ كوري
جم ح (حديد)
جم ح ٢ أ ٣
ح ٢ / ح ٢ أ ٣ = ٠ر٧٣
كمية النشاط الاشعاعي
كوري
مليكوري
١٠ مليكوري
١٠٠
١
١٠٠
الزمن بالايام
٢
٦
١٠
١٤
١٨
٢٢
٢٦
٣٠
٣٤
٣٨
٤٢
٤٨
٥٢

(شكل ١٧)



كمية النشاط الإشعاعي
كوري
١٠
١
مللیکوري
١٠٠ مللیکوري
جم ح
ح - ٥٩ (مثرى الى ١٠٠٪ ح - ٥٩ الفيض النيوتروني Φ ١٠^١٤
ز/٢ = ٤٥ يوم، درجة تشبع: ٥ر٢٧ كوري/جم حديد
ح٢ / ح٢أ٣ = ٠ر٧٣
٢
٤
٦
٨
١٠
١٢
١٤
١٦
١٨
٢٠
الزمن بالأيام

(شكل ١٨)



كوبلت ـ ٦٠ الفيض النيوتروني ϕ ١٠^١٤
ز/٢ = ٣ر٥ سنة = ٦ر٦٣ شهر
درجة تشبع: ١٠٠٠ كوري جم كوبلت
كوري
١٠
كمية النشاط الاشعاعي
١ كوري
١ ٣ ٥ ٧ ٩ ١١ ١٣ ١٥ ١٧ ١٩ ٢١ ٢٣ ٢٥ ٢٧ ٢٩
الزمن بالأيام

(شكل ١٩)

الاستخدام كمصدر تشعيع) يجب أن تستمر فترة التشعيع في المفاعل لمدة أكثر من سنة بنفس الفيض النيوتروني وقدره ١٠ ^١٤^ نيوترون/سم^-٢^/ث^-١^.

نحاس٦٤ :

التفاعل النووي : نح٦٣ (ن ، ۵) نح٦٤ (نسبة الوفرة للنظير ١ر٦٩٪).

الهدف : فلز النحاس أو أكسيد النحاس.

الفيض النيوتروني والنشاط الاشعاعي الناتج : ± ١٢ كوري/جم لفترة تشعيع قدرها ٣ ساعات وبفيض نيوتروني قدره ١٠ ^١٤^ نيوترون/سم^-٢^/ث^-١^ (شكل ٢٠).

يجب الانتظار بعد اتمام التشعيع فترة أخرى قدرها ١ ساعة حتى يحدث انحلال إشعاعي لنظير النحاس المشع٦٦ (فترة نصف العمر ٥ دقائق).

جاليوم٧٢ :

التفاعل النووي : جاليوم٧١ (ن ، ۵) جاليوم٧٢ (نسبة الوفرة للنظير ٨ر٣٩٪).

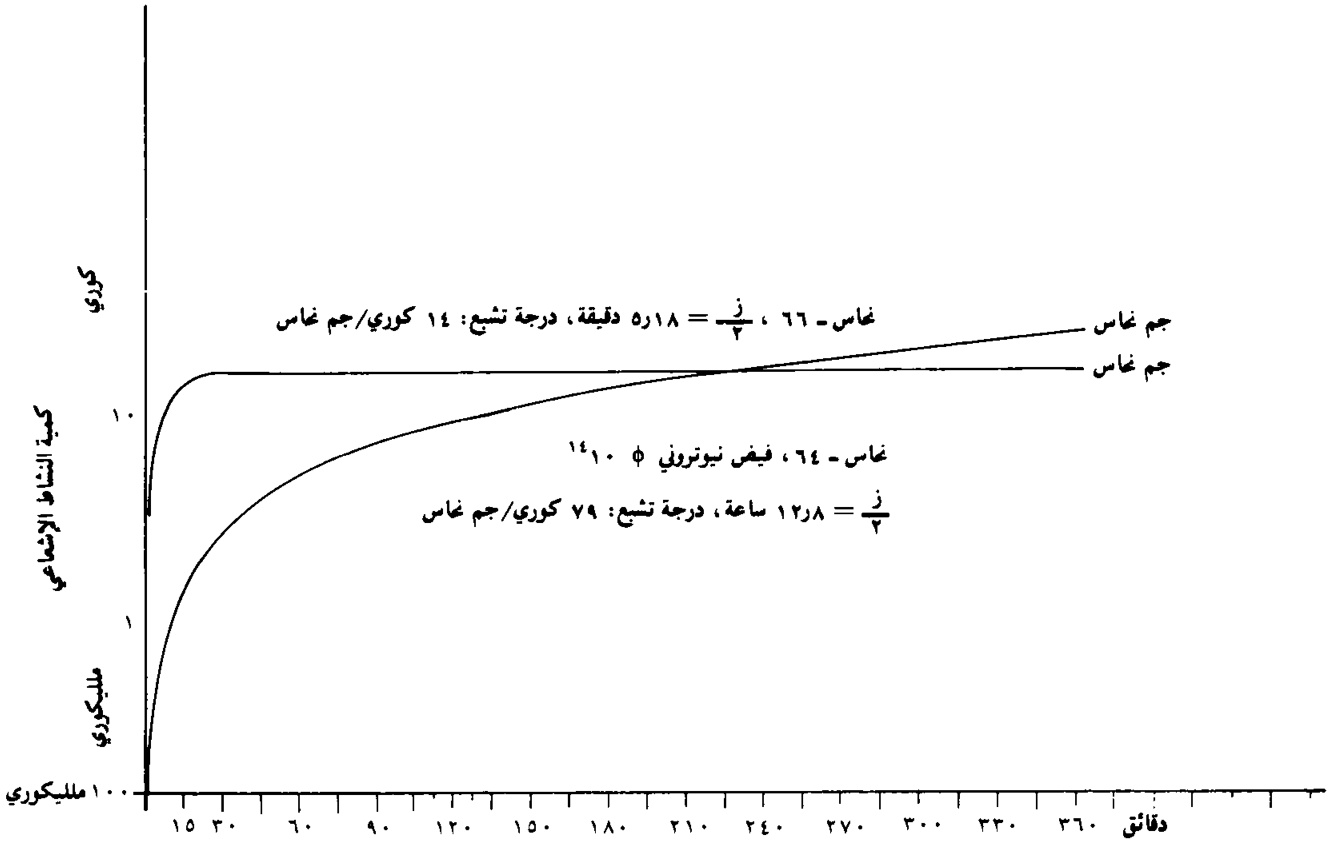
الهدف : أكسيد الجاليوم (جا٢ أ٣).

الفيض النيوتروني والنشاط الاشعاعي الناتج :- ٣٥ كوري/جم بعد فترة تشعيع قدرها ١ يوم وبفيض نيوتروني قدره ١٠ ^١٤^ نيوترون/ سم^-٢^/ث^-١^ (شكل ٢١).

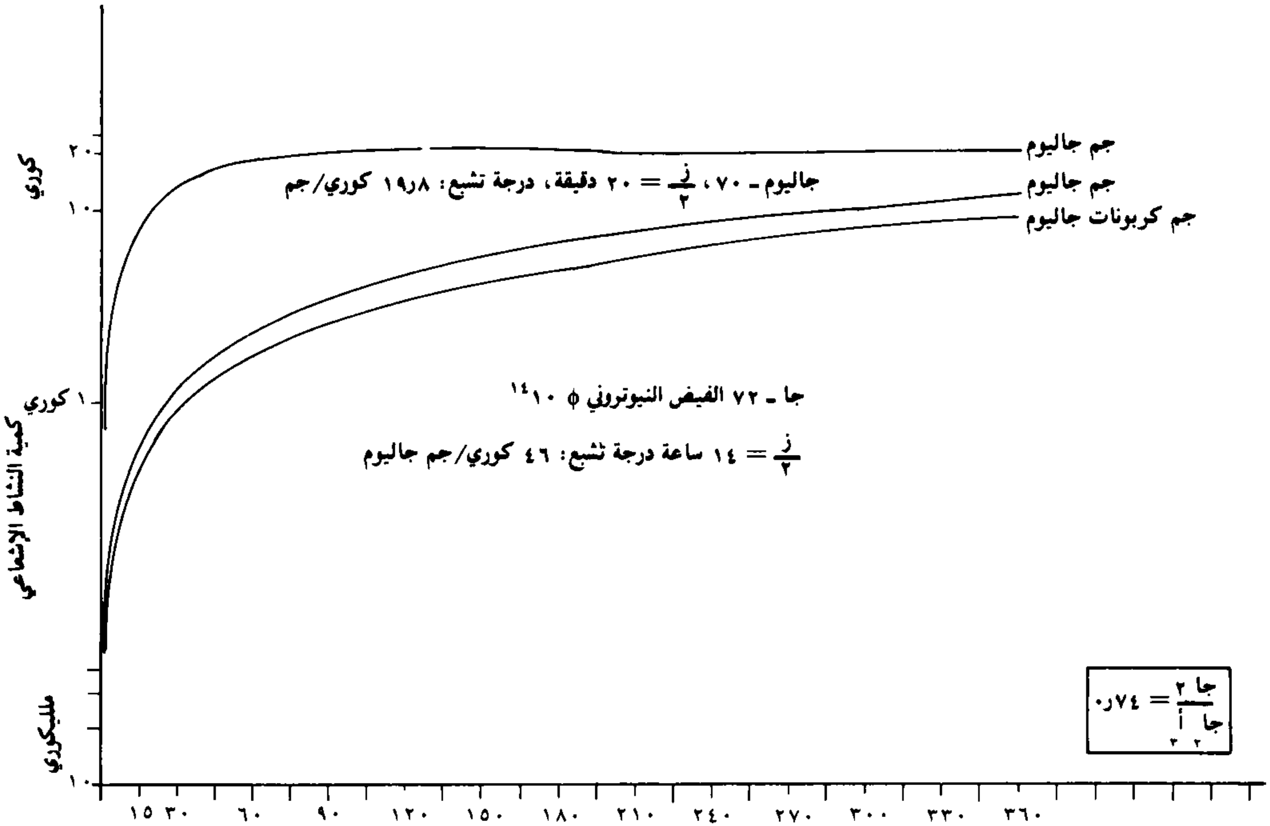
يجب الانتظار بعد اتمام التشعيع فترة أخرى قدرها ٤ ساعات وذلك لانقاص كمية نظير الجاليوم المشع٧٠ (فترة نصف العمر ٢٠ دقيقة) عن طريق الانحلال الاشعاعي.

سلينيوم٧٥ :

التفاعل النووي : سلينيوم٧٤ (ن ، ۵) سلينيوم٧٥ (نسبة الوفرة للنظير ٨٧ر٠٪).


كوري
كمية النشاط الإشعاعي
ملليكوري
١٠
١
١٠٠ مللیکوري
غاس ـ ٦٦ ، ز/٢ = ١٨ر٥ دقيقة، درجة تشبع: ١٤ كوري/جم غاس
جم غاس
جم غاس
غاس ـ ٦٤ ، فيض نيوتروني ϕ ١٠^١٤
ز/٢ = ١٢ر٨ ساعة، درجة تشبع: ٧٩ كوري/جم غاس
١٥ ٣٠ ٦٠ ٩٠ ١٢٠ ١٥٠ ١٨٠ ٢١٠ ٢٤٠ ٢٧٠ ٣٠٠ ٣٣٠ ٣٦٠ دقائق

(شكل ٢٠)


كوري
٢٠
١٠
١ كوري
كمية النشاط الإشعاعي
مليكوري
١٠
جم جاليوم
جم جاليوم
جم كربونات جاليوم
جاليوم ـ ٧٠ ، ن/٢ = ٢٠ دقيقة، درجة تشبع: ١٩٫٨ كوري/جم
جا ـ ٧٢ الفيض النيوتروني ϕ ١٠ ١٤
ن/٢ = ١٤ ساعة درجة تشبع: ٤٦ كوري/جم جاليوم
١٥ ٣٠ ٦٠ ٩٠ ١٢٠ ١٥٠ ١٨٠ ٢١٠ ٢٤٠ ٢٧٠ ٣٠٠ ٣٣٠ ٣٦٠
جا ٢ / جا أ ٢ ٣ = ٠٫٧٤

(شكل ٢١)

الهدف: أكسيد السيلينيوم المثرى الى نسبة ١٠٠٪ سلينيوم٧٤.

الفيض النيوتروني وكمية النشاط الاشعاعي الناتج:

١ ملليكوري/مجم سلينيوم طبيعي (شكل ٢٢).

١٢٠ ملليكوري/مجم سيلينيوم مثرى (شكل ٢٣).

استرنشيوم٨٥:

التفاعل النووي: استرنشيوم٨٤ (ن، ẟ) استرنشيوم٨٥ (مع نسبة وفرة للنظير ٥٦ر٠٪).

الهدف: كربونات الاسترنشيوم المثرى الى نسبة ٧٥٪ استرنشيوم٨٤.

الفيض النيوتروني وكمية النشاط الاشعاعي الناتج: ٢ر٣ كوري/جم استرنشيوم مثرى، مع نسبة من شوائب نظير الاسترنشيوم المشع٨٩ أقل من ٢٪ (شكل ٢٤).

ايتريوم٩٠:

التفاعل النووي: ايتريوم٨٩ (ن، ẟ) ايتريوم٩٠ (نسبة وفرة النظير ١٠٠٪).

الهدف: أكسيد ايتريوم (على هيئة حبات للعلاج).

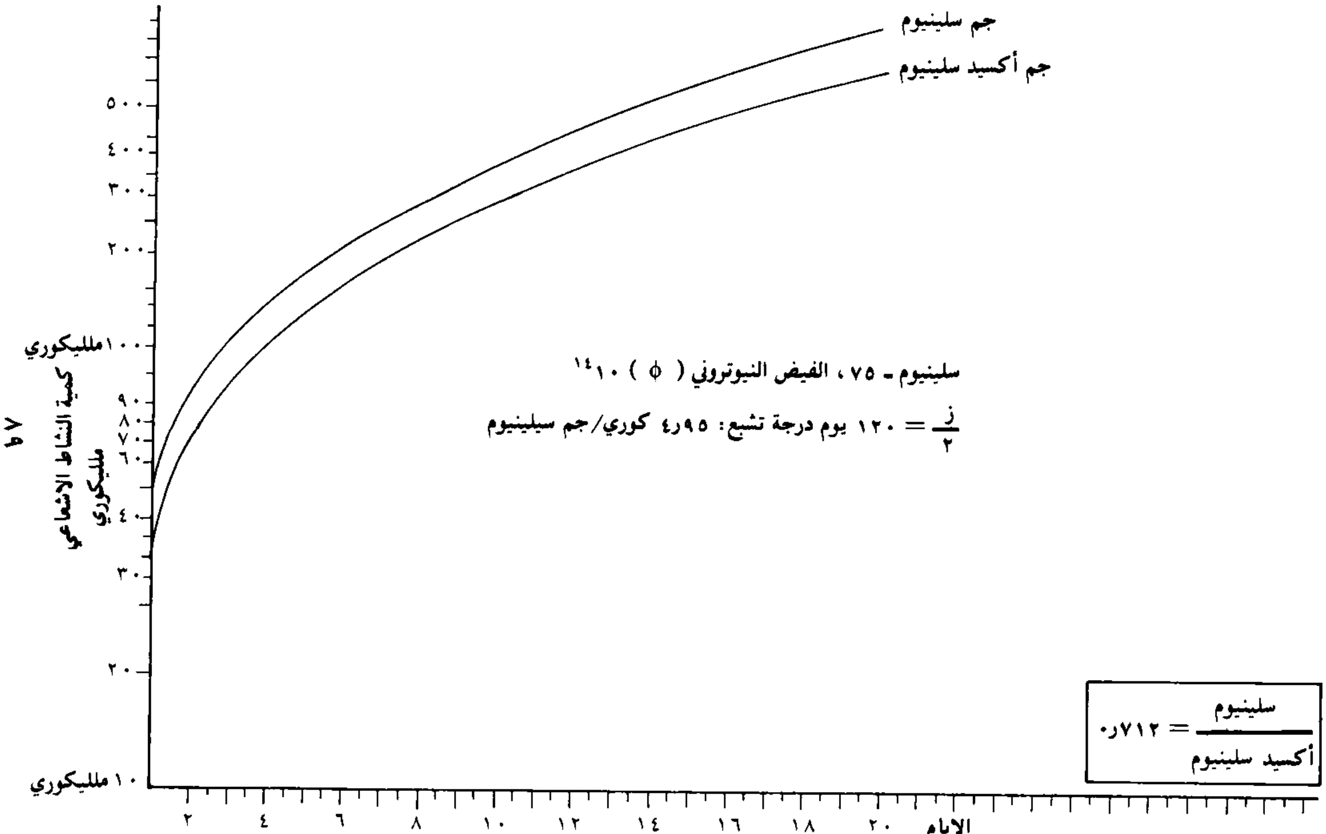
الفيض النيوتروني وكمية النشاط الاشعاعي الناتج: (شكل ٢٥).

لنثانم١٤٠:

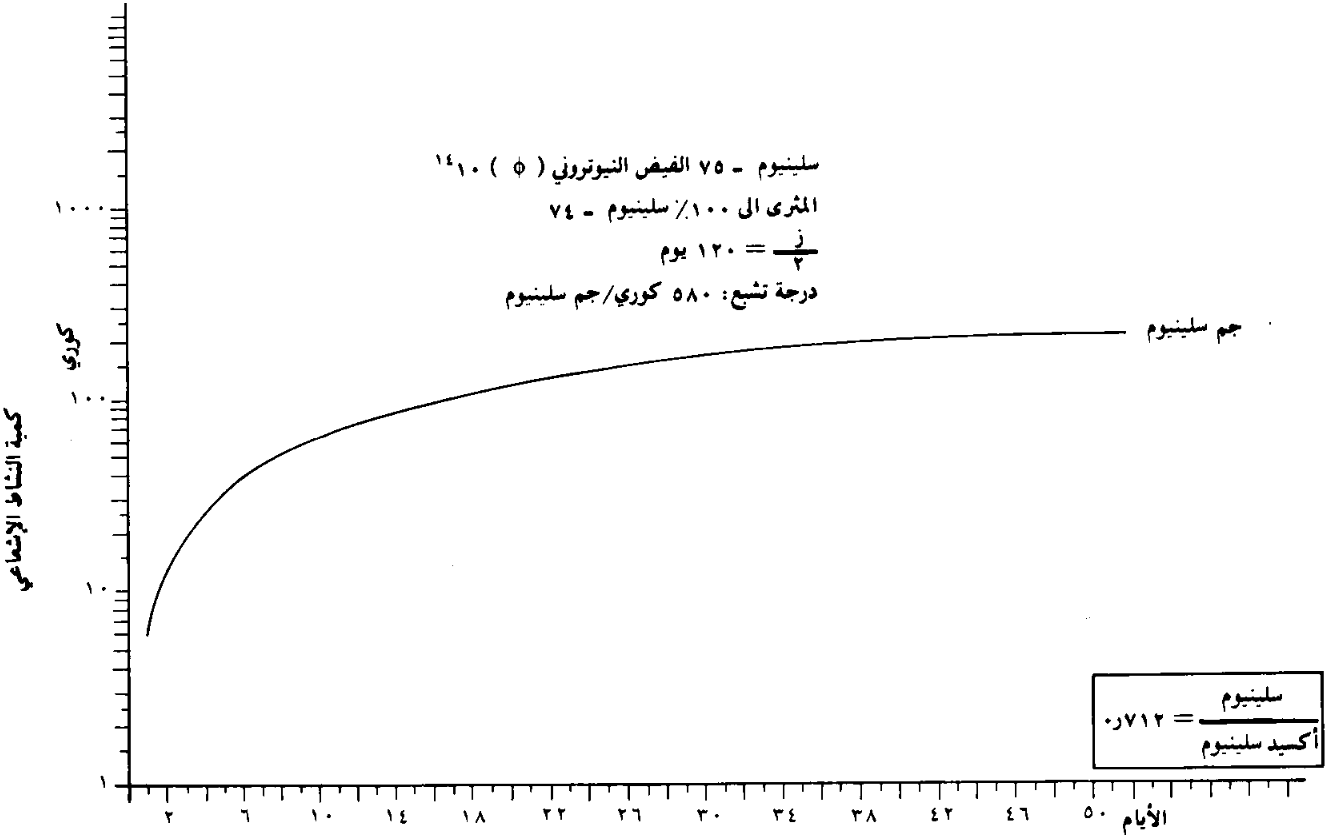
التفاعل النووي: لنثانم١٣٩ (ن، ẟ) لنثانم١٤٠ (نسبة وفرة النظير ١٠٠٪).

الهدف: أكسيد لنثانم (لا٢ أ٣).

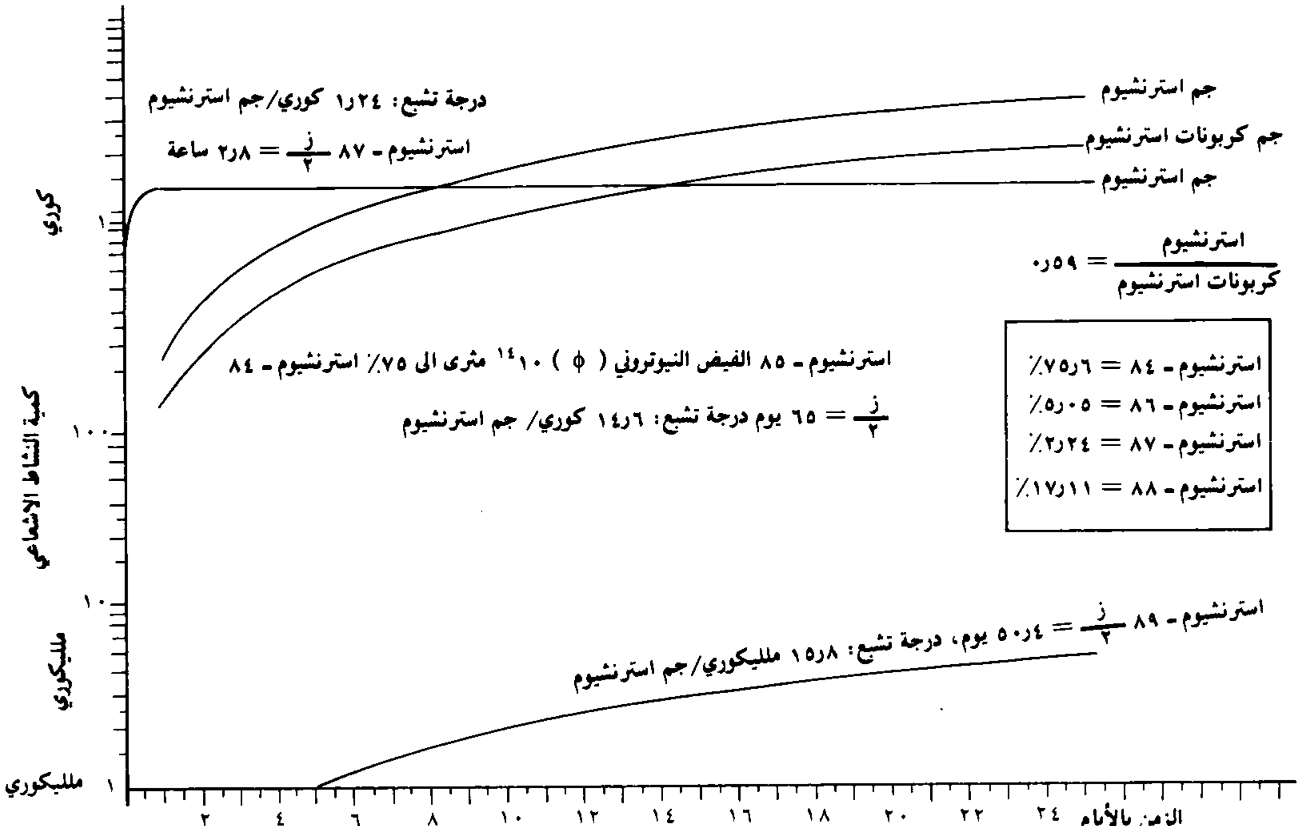
الفيض النيوتروني وكمية النشاط الاشعاعي الناتج: (شكل ٢٦).


جم سلينيوم
جم أكسيد سلينيوم
٥٠٠
٤٠٠
٣٠٠
٢٠٠
١٠٠ ملليكوري
كمية النشاط الاشعاعي
ملليكوري
٩٠
٨٠
٧٠
٦٠
٤٠
٣٠
٢٠
١٠ ملليكوري
سلينيوم ـ ٧٥ ، الفيض النيوتروني (ϕ) ١٠^١٤
ز/٢ = ١٢٠ يوم درجة تشبع: ٩٥ر٤ كوري/جم سيلينيوم
سلينيوم / أكسيد سلينيوم = ٧١٢ر٠
٢
٤
٦
٨
١٠
١٢
١٤
١٦
١٨
٢٠
الايام

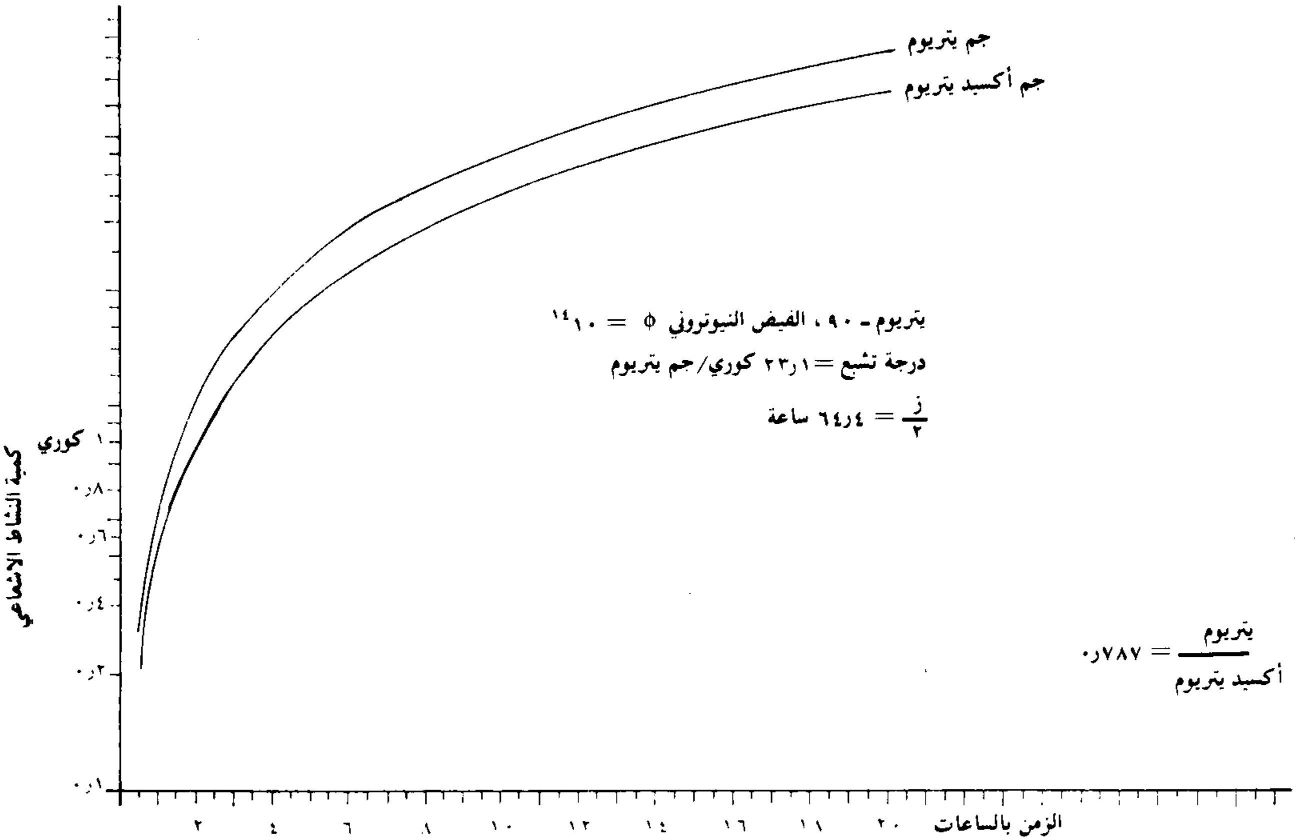
(شكل ٢٢)


سلينيوم - ٧٥ الفيض النيوتروني (ϕ) ١٠^١٤
المثرى الى ١٠٠٪ سلينيوم - ٧٤
ز/٢ = ١٢٠ يوم
درجة تشبع: ٥٨٠ كوري/جم سلينيوم
جم سلينيوم
سلينيوم/أكسيد سلينيوم = ٠ر٧١٢
كمية النشاط الإشعاعي
كوري
١
١٠
١٠٠
١٠٠٠
٢
٦
١٠
١٤
١٨
٢٢
٢٦
٣٠
٣٤
٣٨
٤٢
٤٦
٥٠
الأيام

(شكل ٢٣)

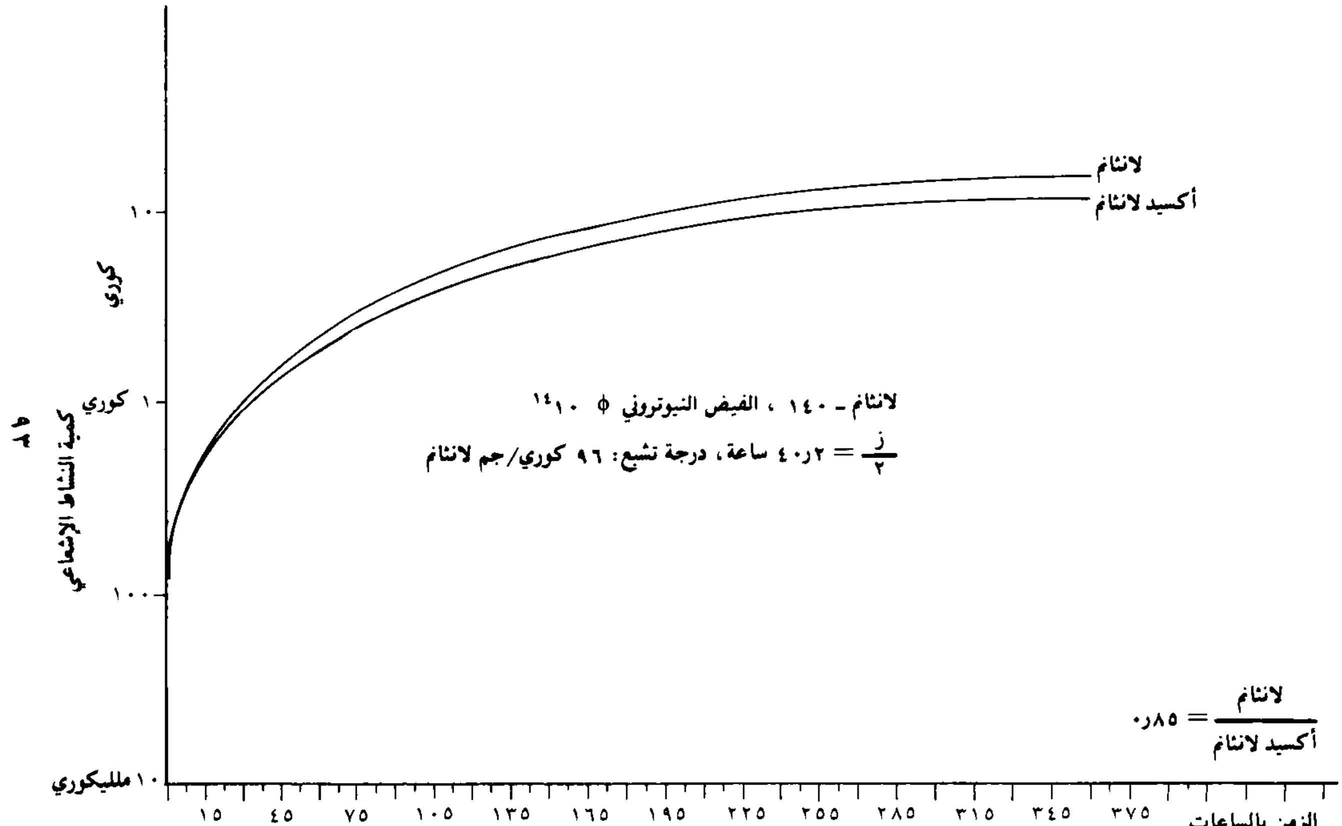

درجة تشبع: ٢٤ر١ كوري/جم استرنشيوم
استرنشيوم ـ ٨٧ ز/٢ = ٨ر٢ ساعة
جم استرنشيوم
جم كربونات استرنشيوم
جم استرنشيوم
استرنشيوم / كربونات استرنشيوم = ٥٩ر٠
استرنشيوم ـ ٨٤ = ٥٦ر٠٪
استرنشيوم ـ ٨٦ = ٨٦ر٩٪
استرنشيوم ـ ٨٧ = ٠٢ر٧٪
استرنشيوم ـ ٨٨ = ٥٦ر٨٢٪
استرنشيوم ـ ٨٥ الفيض النيوتروني (ϕ) ١٠^١٤ مثرى الى ٧٥٪ استرنشيوم ـ ٨٤
ز/٢ = ٦٥ يوم درجة تشبع: ٦ر١٤ كوري/ جم استرنشيوم
استرنشيوم ـ ٨٩ ز/٢ = ٥٠ر٤ يوم، درجة تشبع: ٨ر١٥ ملليكوري/جم استرنشيوم
كمية النشاط الاشعاعي
كوري
ملليكوري
١
١٠٠
١٠
١
ملليكوري
٢
٤
٦
٨
١٠
١٢
١٤
١٦
١٨
٢٠
٢٢
٢٤
الزمن بالأيام

(شكل ٢٤)



جم يتريوم
جم أكسيد يتريوم
يتريوم ـ ٩٠ ، الفيض النيوتروني Φ = ١٠^١٤
درجة تشبع = ١ر٢٣ كوري/جم يتريوم
ز/٢ = ٦٤ر٤ ساعة
يتريوم / أكسيد يتريوم = ٧٨٧ر٠
كمية النشاط الاشعاعي
١ كوري
٨ر٠
٦ر٠
٤ر٠
٢ر٠
١ر٠
الزمن بالساعات
٢
٤
٦
٨
١٠
١٢
١٤
١٦
١٨
٢٠

(شكل ٢٥)



لانثام
أكسيد لانثام
لانثام - ١٤٠ ، الفيض النيوتروني ϕ ١٠^١٤
ز/٢ = ٤٠٫٢ ساعة ، درجة تشبع: ٩٦ كوري/جم لانثام
لانثام / أكسيد لانثام = ٠٫٨٥
١٠
كوري
١ كوري
١٠٠
١٠ ملليكوري
كمية النشاط الإشعاعي
١٥ ٤٥ ٧٥ ١٠٥ ١٣٥ ١٦٥ ١٩٥ ٢٢٥ ٢٥٥ ٢٨٥ ٣١٥ ٣٤٥ ٣٧٥
الزمن بالساعات

(شكل ٢٦)

اريديوم١٩٢ :

التفاعل النووي: إريديوم١٩١ (ن ، ܘ) إريديوم١٩٢ (نسبة وفرة النظير ٥ر٣٨٪).

الهدف: معدن إريديوم (كمصادر تشعيع) أو محلول من (ن يد $_٤$)$_٢$ أر كل$_٦$.

النشاط الاشعاعي الناتج: ٥٥٠ كوري/جم وفترة تشعيع قدرها ٢٠ يوماً والفيض نيوتروني قدره ١٠ ^{١٤} نيوترون/سم$^{-٢}$/ث$^{-١}$ (شكل ٢٧).

الذهب المشع١٩٨ :

التفاعل النووي: ذهب١٩٧ (ن ، ܘ) ذهب١٩٨ (نسبة وفرة النظير ١٠٠٪).

الهدف: معدن الذهب (على هيئة اسلاك ـ حباب أو رقائق).

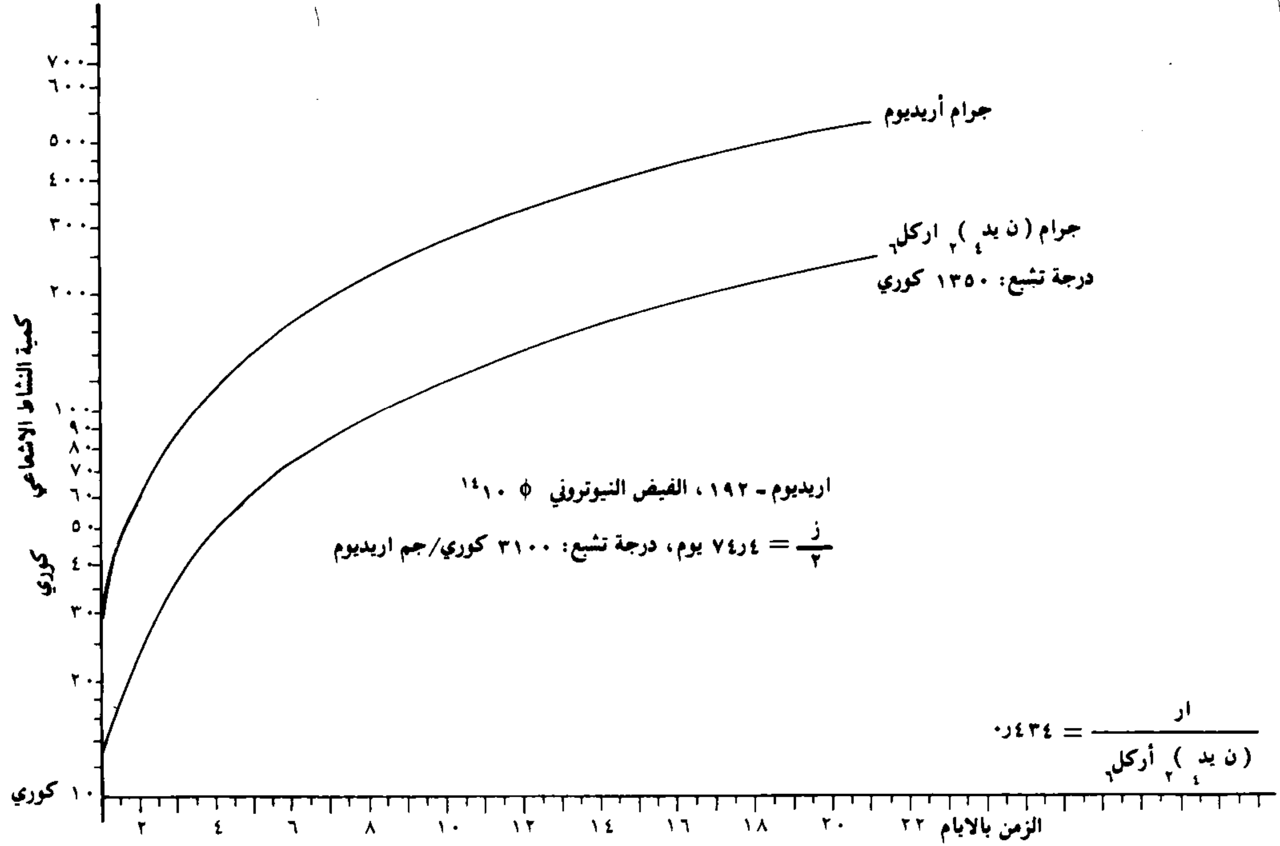
النشاط الاشعاعي الناتج:

٥٥ر٠ ملليكوري/مجم لفترة تشعيع قدرها ٢ ساعة وبفيض نيوتروني قدره ١٠ ^{١٣} ن/سم$^{-٢}$/ث$^{-١}$.

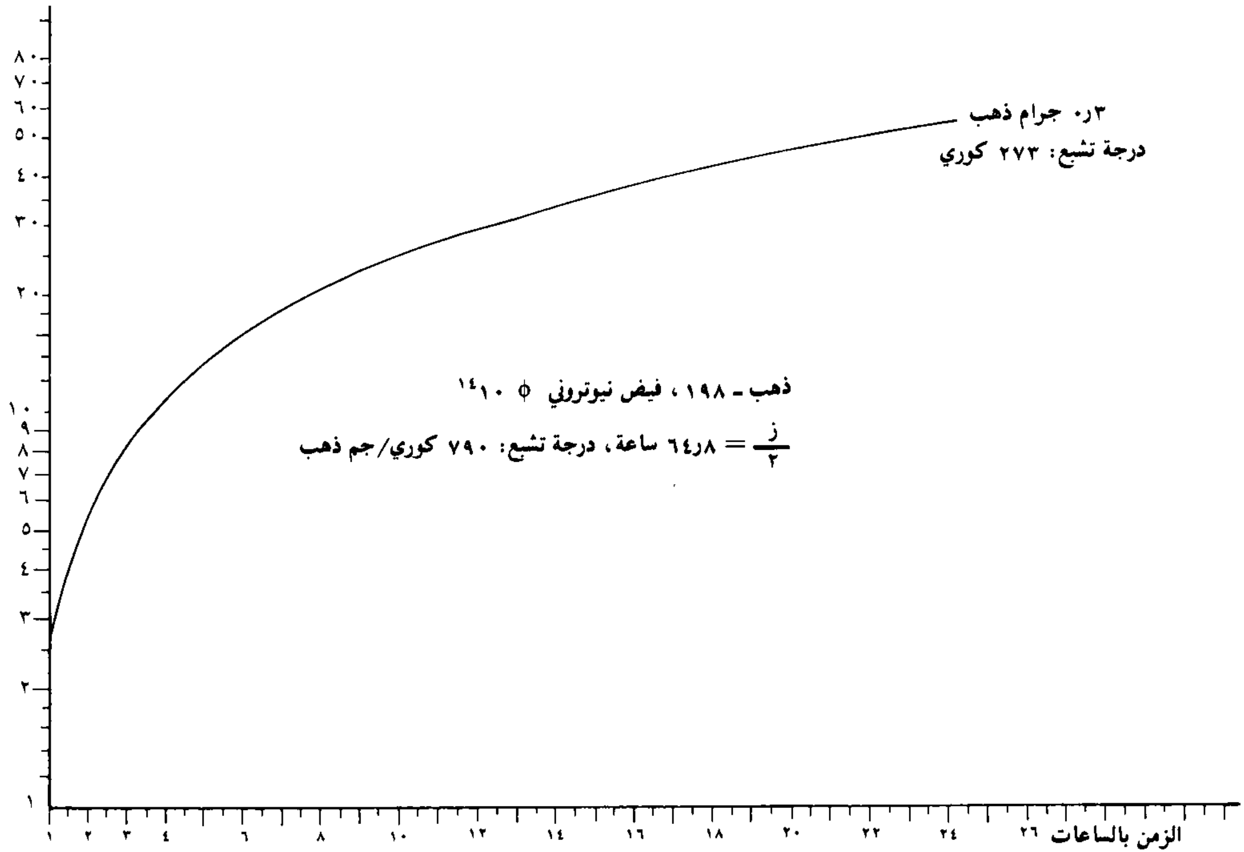
٥٠ر٢ ملليكوري/مجم لفترة تشعيع قدرها ١٠ ساعات وبفيض نيوتروني قدره ١٠ ^{١٣} ن/سم$^{-٢}$/ث$^{-١}$.

٠٠ر١٤ ملليكوري/مجم لفترة تشعيع قدرها ٤ ساعات وبفيض نيوتروني قدره ١٠ ^{١٤} ن/سم$^{-٢}$/ث$^{-١}$ (شكل ٢٨).

وقد صرف النظر الآن عن إنتاج محاليل الذهب الغروي وحل محله انتاج الغرويات ذات فترة نصف العمر القصير للأغراض التشخيصية في العلاج.


جرام أريديوم
جرام (ن يد$_4$)$_2$ اركل$_6$
درجة تشبع: ١٣٥٠ كوري
اريديوم - ١٩٢ ، الفيض النيوتروني ϕ ١٠^{14}
$\frac{ز}{٢}$ = ٧٤٫٤ يوم، درجة تشبع: ٣١٠٠ كوري/جم اريديوم
$\frac{ار}{(ن يد_4)_2 أركل_6}$ = ٠٫٤٣٤
كمية النشاط الاشعاعي كوري
٧٠٠
٦٠٠
٥٠٠
٤٠٠
٣٠٠
٢٠٠
١٠٠
٩٠
٨٠
٧٠
٦٠
٥٠
٤٠
٣٠
٢٠
١٠ كوري
٢
٤
٦
٨
١٠
١٢
١٤
١٦
١٨
٢٠
٢٢
الزمن بالايام

(شكل ٢٧)



٠٫٣ جرام ذهب
درجة تشبع: ٢٧٣ كوري
ذهب ـ ١٩٨ ، فيض نيوتروني Φ ١٠^١٤
ز/٢ = ٦٤٫٨ ساعة، درجة تشبع: ٧٩٠ كوري/جم ذهب
كمية النشاط الاشعاعي كوري
الزمن بالساعات

(شكل ٢٨)

زئبق١٩٧ ، زئبق٢٠٣ :

التفاعل النووي : زئبق١٩٦ (ن ، ƍ) زئبق١٩٧ (نسبة وفرة النظير ١٥ر٠٪).

زئبق٢٠٢ (نيو ، ƍ) زئبق٢٠٣ (نسبة وفرة النظير ٨ر٢٩٪).

الهدف : أكسيد الزئبق . يجب وضع احتياطات خاصة لتجنب التفاعل بين الزئبق والالومنيوم (باستخدام امبولات من الكوارتز ووعاء حاوي من الفولاذ الذي لا يصدأ ، مع مراعاة أن تتم عملية التثرية للزئبق١٩٦ أو الزئبق٢٠٢ .

النشاط الاشعاعي الناتج : بالنسبة لانتاج النظير المشع زئبق١٩٧ فمن الضروري تثرية الهدف (بنسبة ٢٠ ـ ٤٠٪ زئبق١٩٦ لكي نجد من كمية الزئبق٢٠٣ الى أقل كمية ممكنة (شكل ٢٩) . أما بالنسبة لانتاج النظير المشع زئبق٢٠٣ فمن الضروري تثرية الهدف بنسبة ٨٠ ـ ٩٠٪ زئبق٢٠٢) مع تحديد كمية الزئبق١٩٦ الى أقل قدر ممكن (شكل ٣٠).

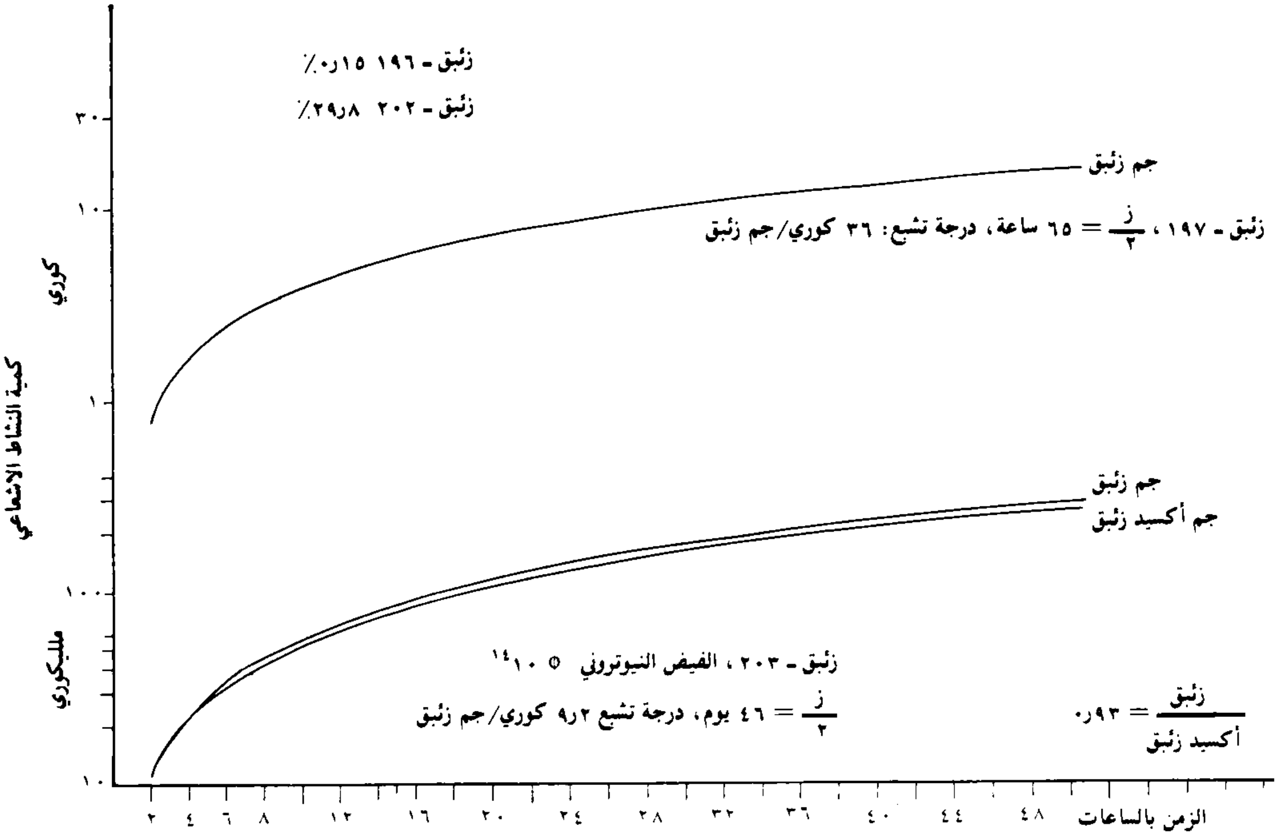
نظائر مشعة أخرى :

توضح المنحنيات البيانية من شكل ٣١ حتى شكل ٤٠ منحنيات التنشيط الاشعاعي لكل من النظائر المشعة التالية :

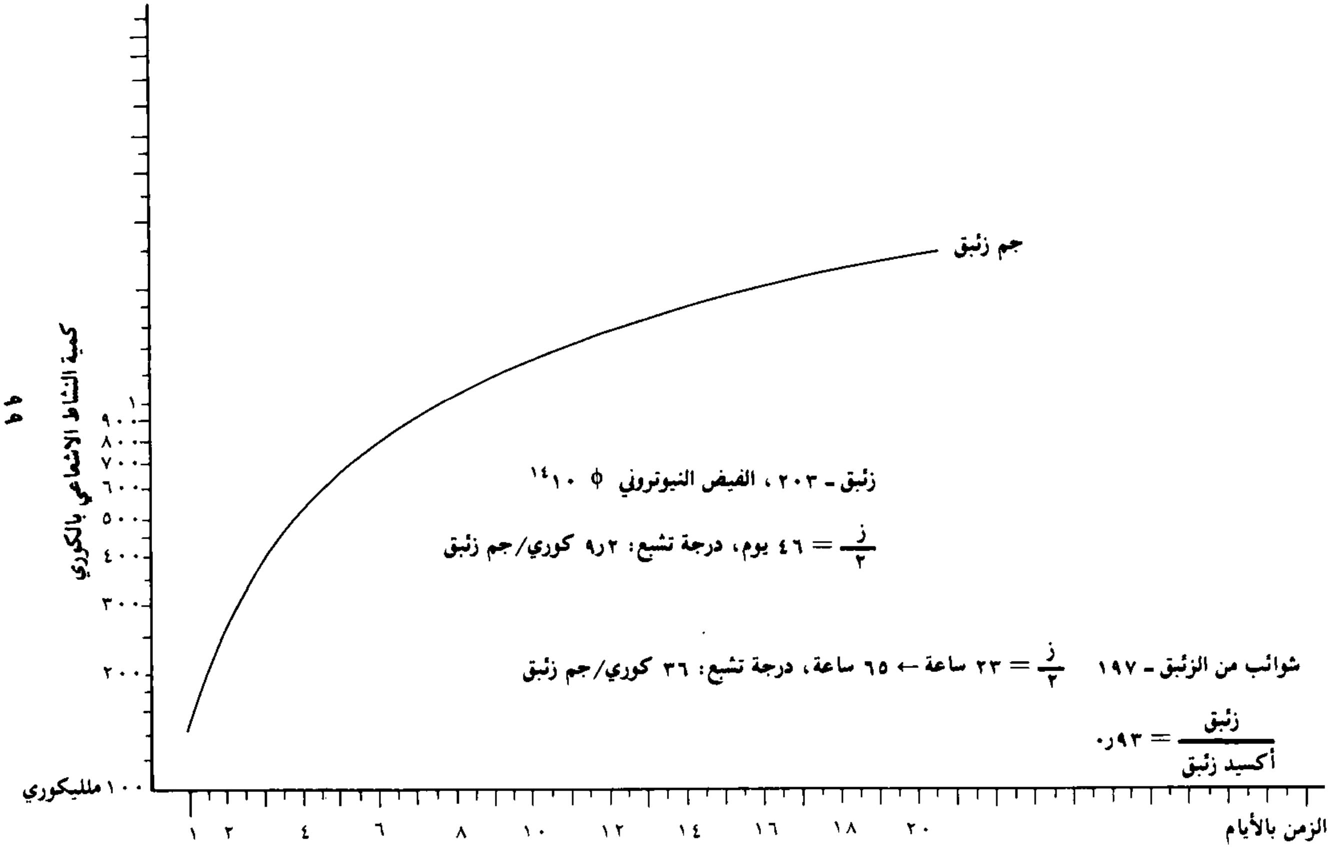
النحاس المشع٦١ ، والزرنيخ المشع٧٦ ، والفضة المشع١١٠ ، والكادميوم١٠٩ ، والباريوم المشع١٣٣ ، والباريوم المشع١٣١ ، والسزيوم١٣٤ والايريدوم١٦٩ .

اليود المشع١٣١ :

يستخدم نوعان (طريقتان) من التفاعلات النووية لانتاج اليود المشع١٣١ . الطريقة الأولى تعتمد على استخلاص اليود المشع١٣١ من نواتج الانشطار النووي لوقود اليورانيوم المشع .

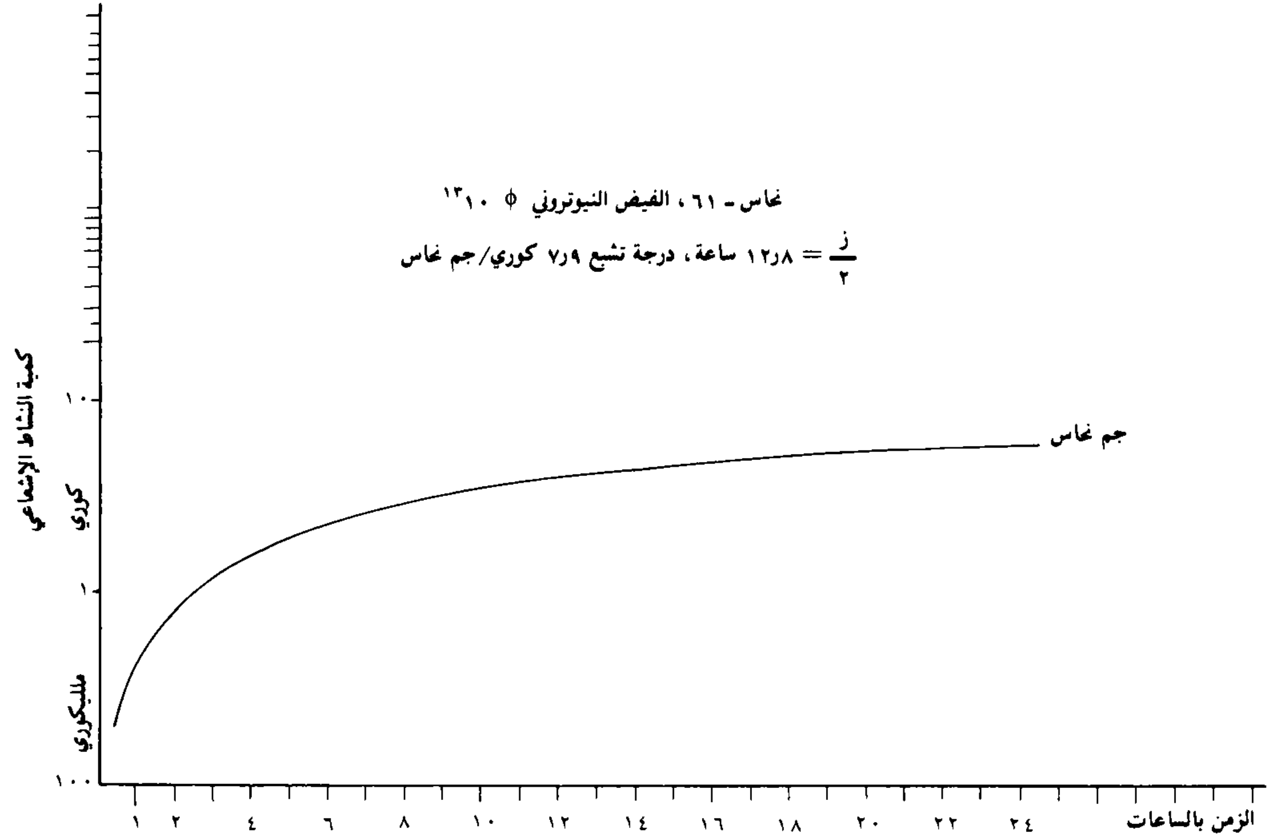

زئبق - ١٩٦ ١٥ر٠٪
زئبق - ٢٠٢ ٨ر٢٩٪
جم زئبق
زئبق - ١٩٧ ، ز/٢ = ٦٥ ساعة، درجة تشبع: ٣٦ كوري/جم زئبق
كوري
كمية النشاط الاشعاعي
مليكوري
جم زئبق
جم أكسيد زئبق
زئبق - ٢٠٣ ، الفيض النيوتروني ٥ × ١٠ ١٤
ز/٢ = ٤٦ يوم، درجة تشبع ٢ر٩ كوري/جم زئبق
زئبق/أكسيد زئبق = ٩٣ر٠
٣٠
١٠
١
١٠٠
١٠
٢ ٤ ٦ ٨ ١٢ ١٦ ٢٠ ٢٤ ٢٨ ٣٢ ٣٦ ٤٠ ٤٤ ٤٨
الزمن بالساعات

(شكل ٢٩)

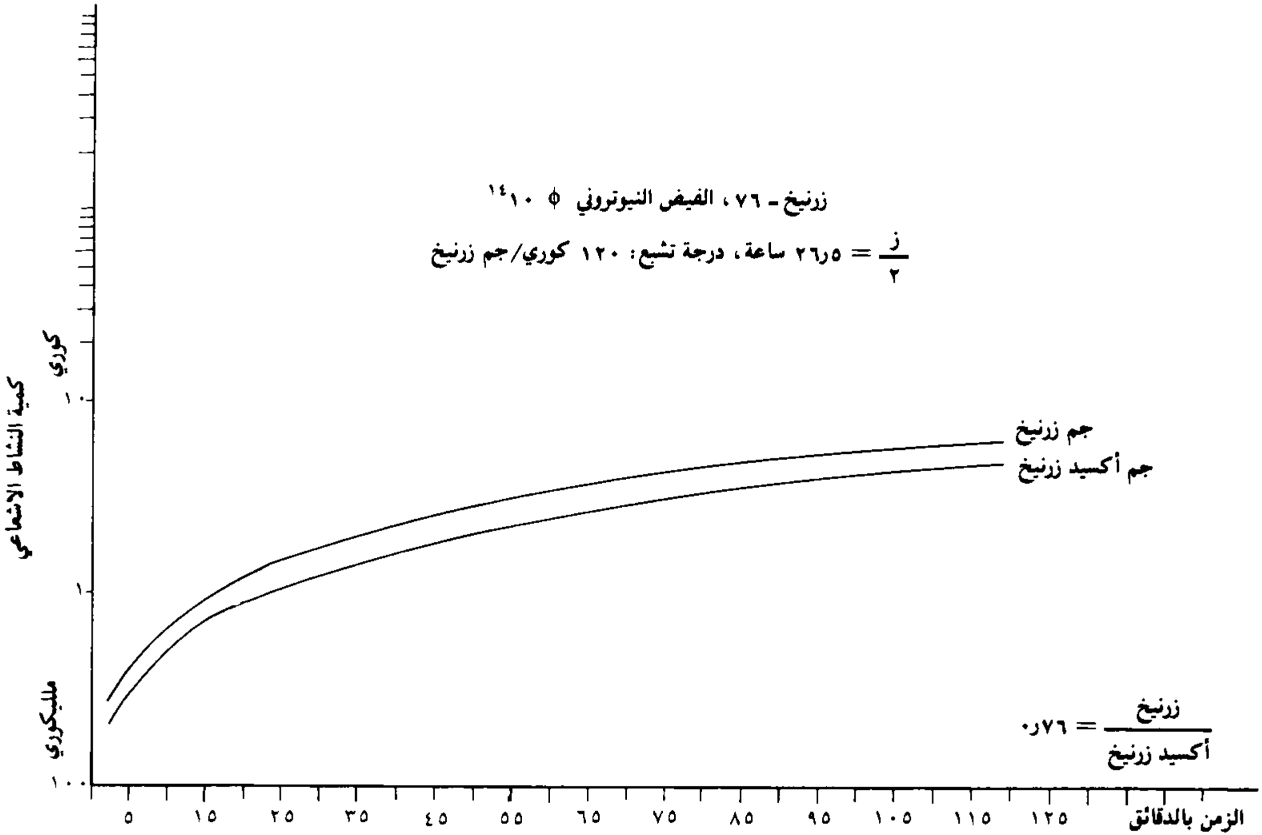


جم زئبق
زئبق ـ ٢٠٣ ، الفيض النيوتروني Φ ١٠ ١٤
ز/٢ = ٤٦ يوم، درجة تشبع: ٢ر٩ كوري/جم زئبق
شوائب من الزئبق ـ ١٩٧ ز/٢ = ٢٣ ساعة ← ٦٥ ساعة، درجة تشبع: ٣٦ كوري/جم زئبق
زئبق / أكسيد زئبق = ٩٣ر٠
كمية النشاط الإشعاعي بالكوري
١٠٠ ملليكوري
٢٠٠
٣٠٠
٤٠٠
٥٠٠
٦٠٠
٧٠٠
٨٠٠
٩٠٠
١
الزمن بالأيام
١ ٢ ٤ ٦ ٨ ١٠ ١٢ ١٤ ١٦ ١٨ ٢٠

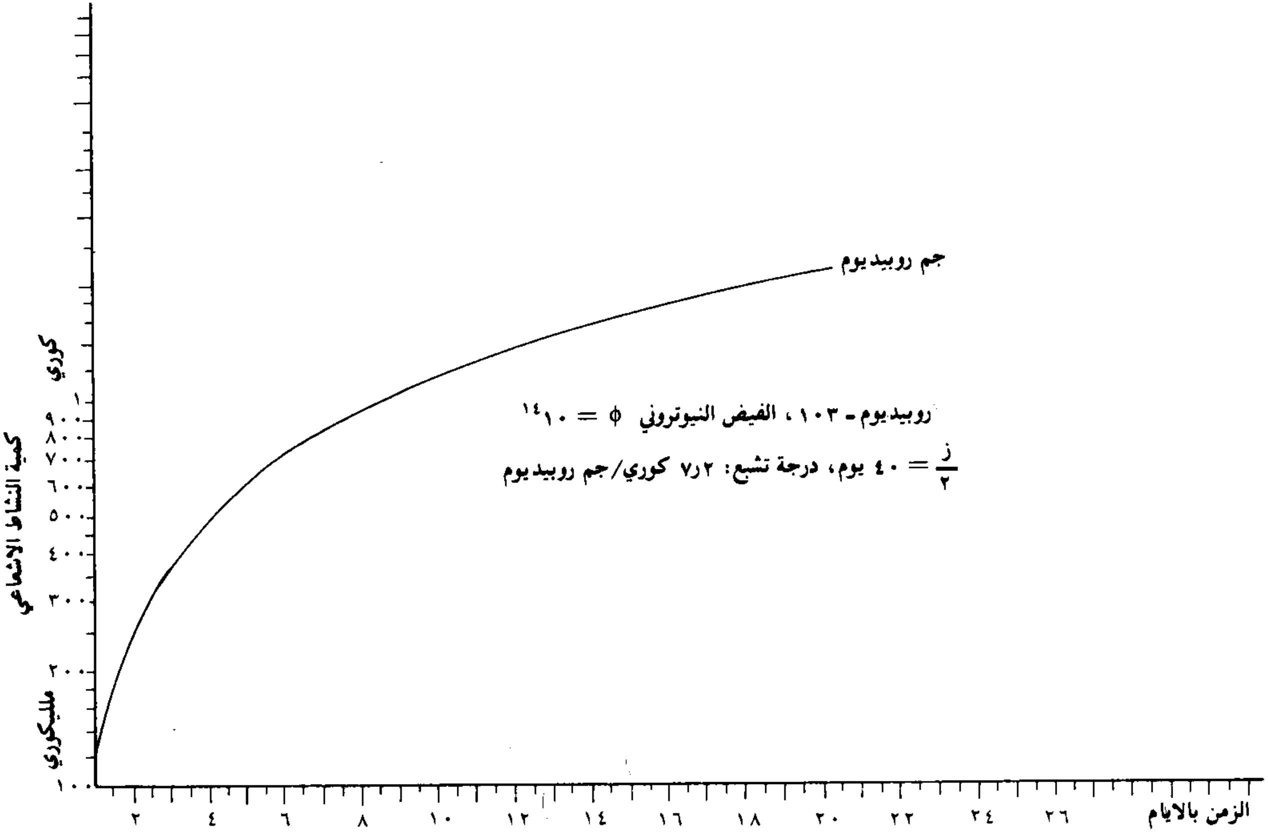
(شكل ٣٠)


نحاس - ٦١ ، الفيض النيوتروني ϕ ١٠^١٣
ز/٢ = ٨ر١٢ ساعة ، درجة تشبع ٩ر٧ كوري/جم نحاس
جم نحاس
كمية النشاط الإشعاعي
كوري
ملليكوري
١٠
١
١٠٠
١ ٢ ٤ ٦ ٨ ١٠ ١٢ ١٤ ١٦ ١٨ ٢٠ ٢٢ ٢٤
الزمن بالساعات

شكل (٣١)

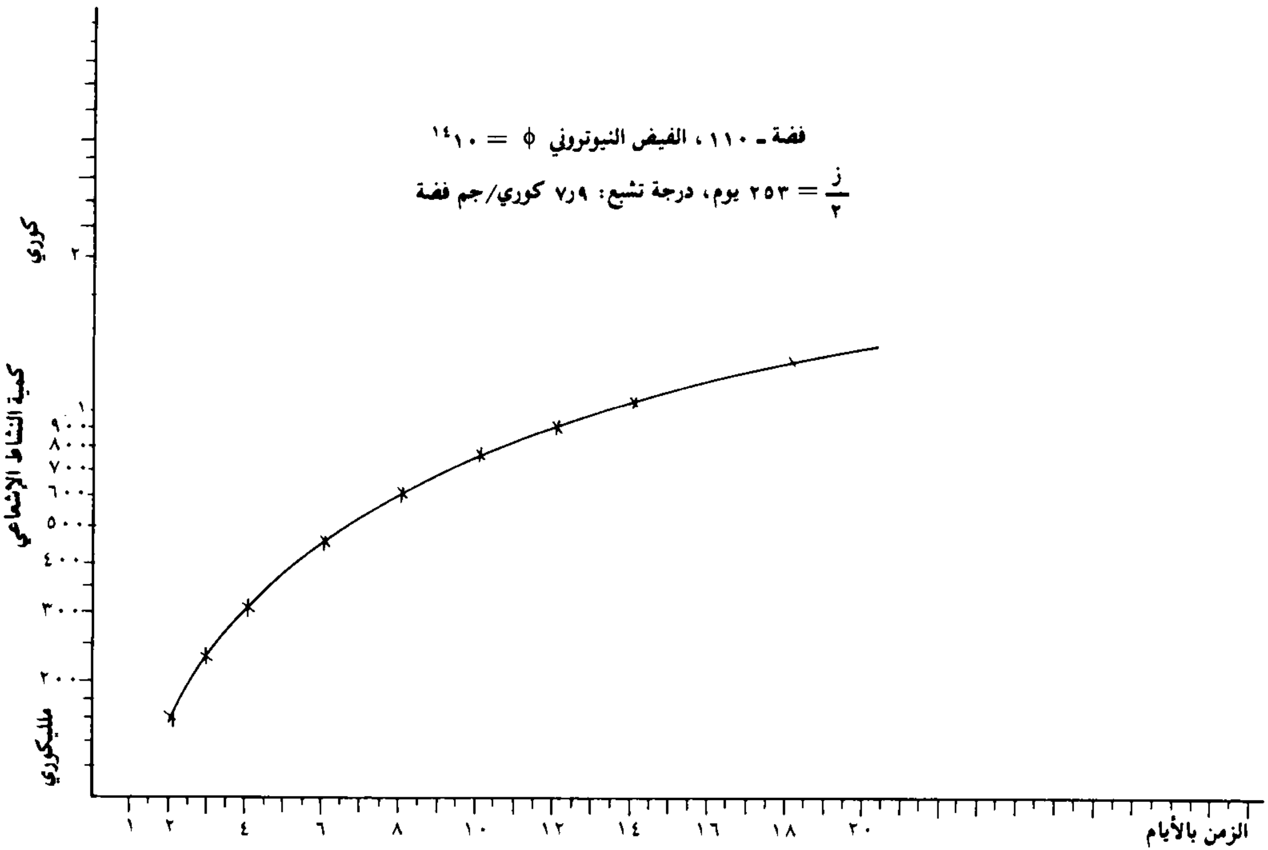

زرنيخ ـ ٧٦ ، الفيض النيوتروني ϕ ١٠^١٤
ز/٢ = ٢٦٫٥ ساعة ، درجة تشبع : ١٢٠ كوري/جم زرنيخ
كمية النشاط الاشعاعي
كوري
مليكوري
١٠
١
١٠٠
جم زرنيخ
جم أكسيد زرنيخ
زرنيخ / أكسيد زرنيخ = ٠٫٧٦
٥
١٥
٢٥
٣٥
٤٥
٥٥
٦٥
٧٥
٨٥
٩٥
١٠٥
١١٥
١٢٥
الزمن بالدقائق

(شكل ٣٢)

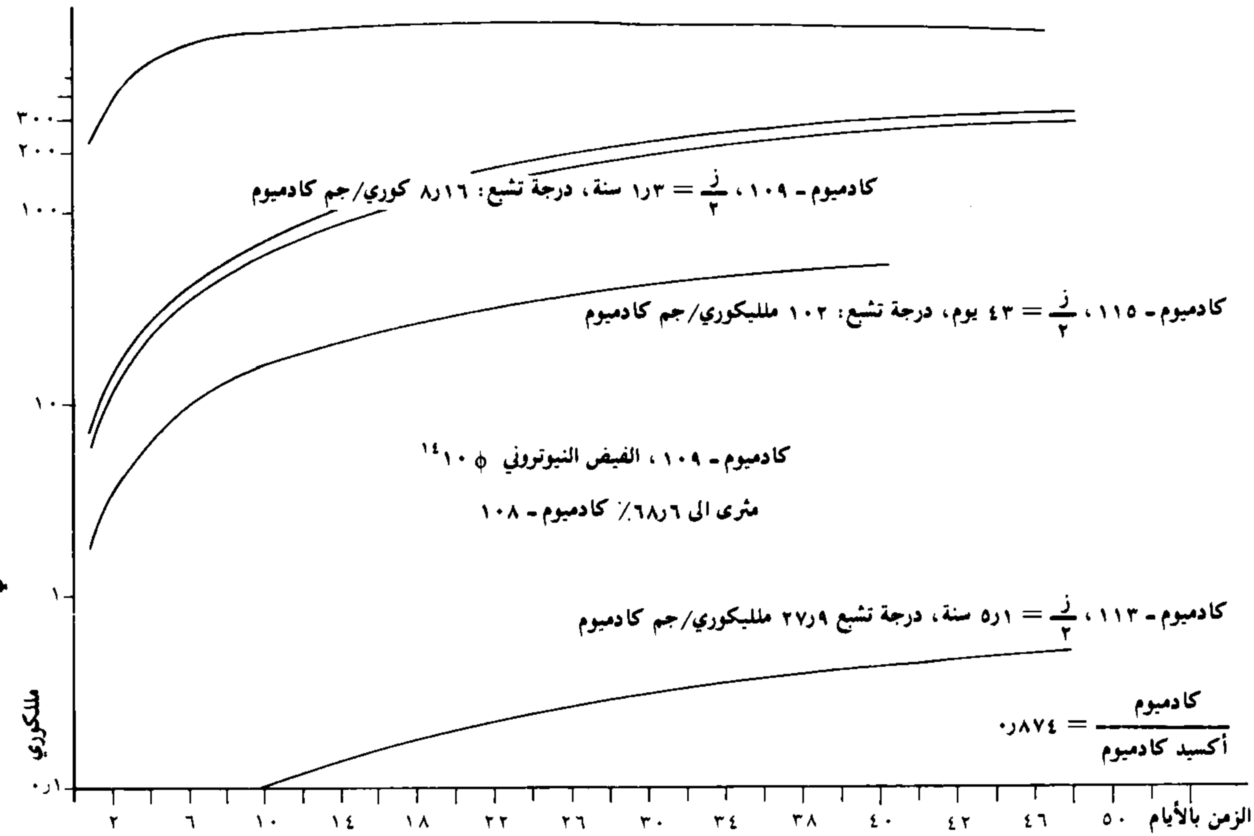


كمية النشاط الاشعاعي
مليكوري
كوري
١٠٠
٢٠٠
٣٠٠
٤٠٠
٥٠٠
٦٠٠
٧٠٠
٨٠٠
٩٠٠
١
جم روبيديوم
روبيديوم - ١٠٣ ، الفيض النيوتروني ϕ = ١٠^١٤
ز/٢ = ٤٠ يوم، درجة تشبع: ٢ر٧ كوري/جم روبيديوم
٢
٤
٦
٨
١٠
١٢
١٤
١٦
١٨
٢٠
٢٢
٢٤
٢٦
الزمن بالايام

(شكل ٣٣)

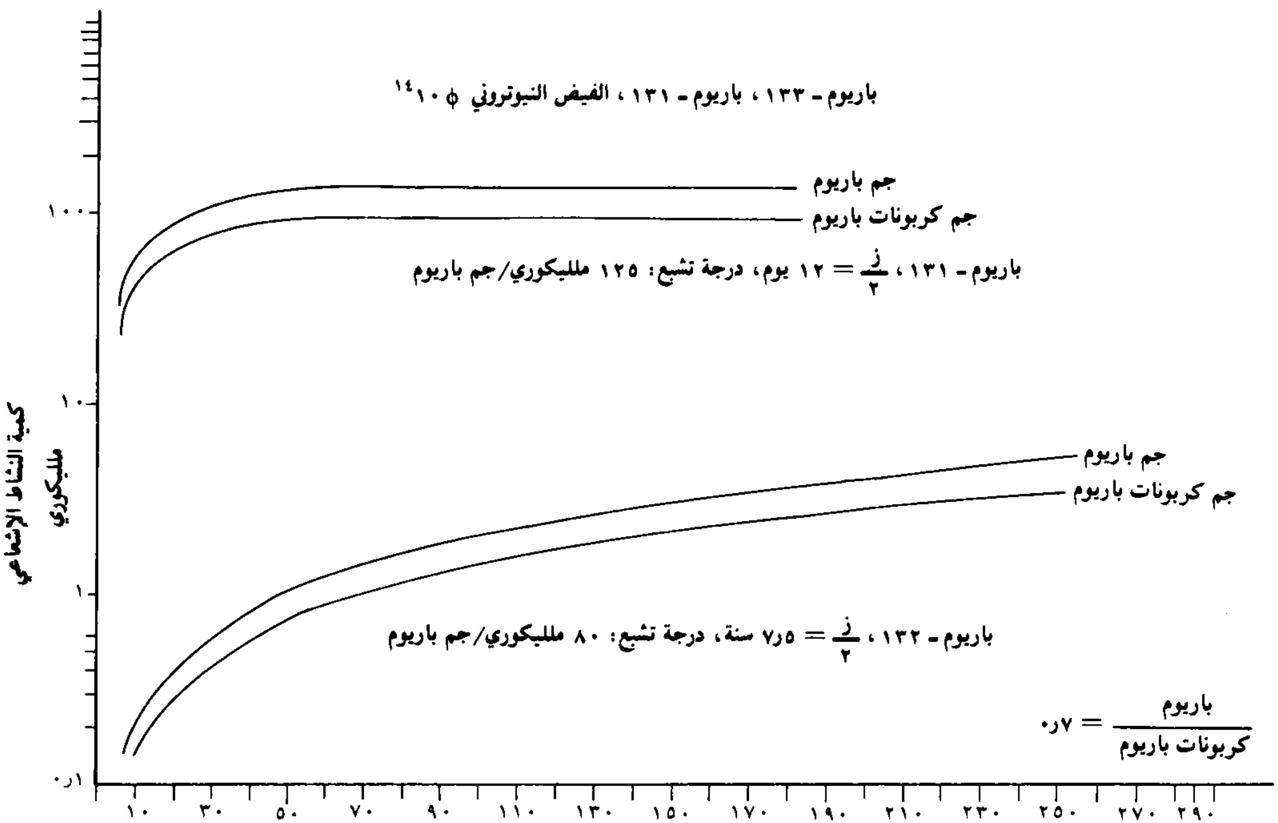

فضة ـ ١١٠ ، الفيض النيوتروني ϕ = ١٠^١٤
ز/٢ = ٢٥٣ يوم، درجة تشبع: ٩ر٧ كوري/جم فضة
كوري
٢
كمية النشاط الإشعاعي
١
٩٠٠
٨٠٠
٧٠٠
٦٠٠
٥٠٠
٤٠٠
٣٠٠
٢٠٠
ملليكوري
١ ٢ ٤ ٦ ٨ ١٠ ١٢ ١٤ ١٦ ١٨ ٢٠
الزمن بالأيام

(شكل ٣٤)

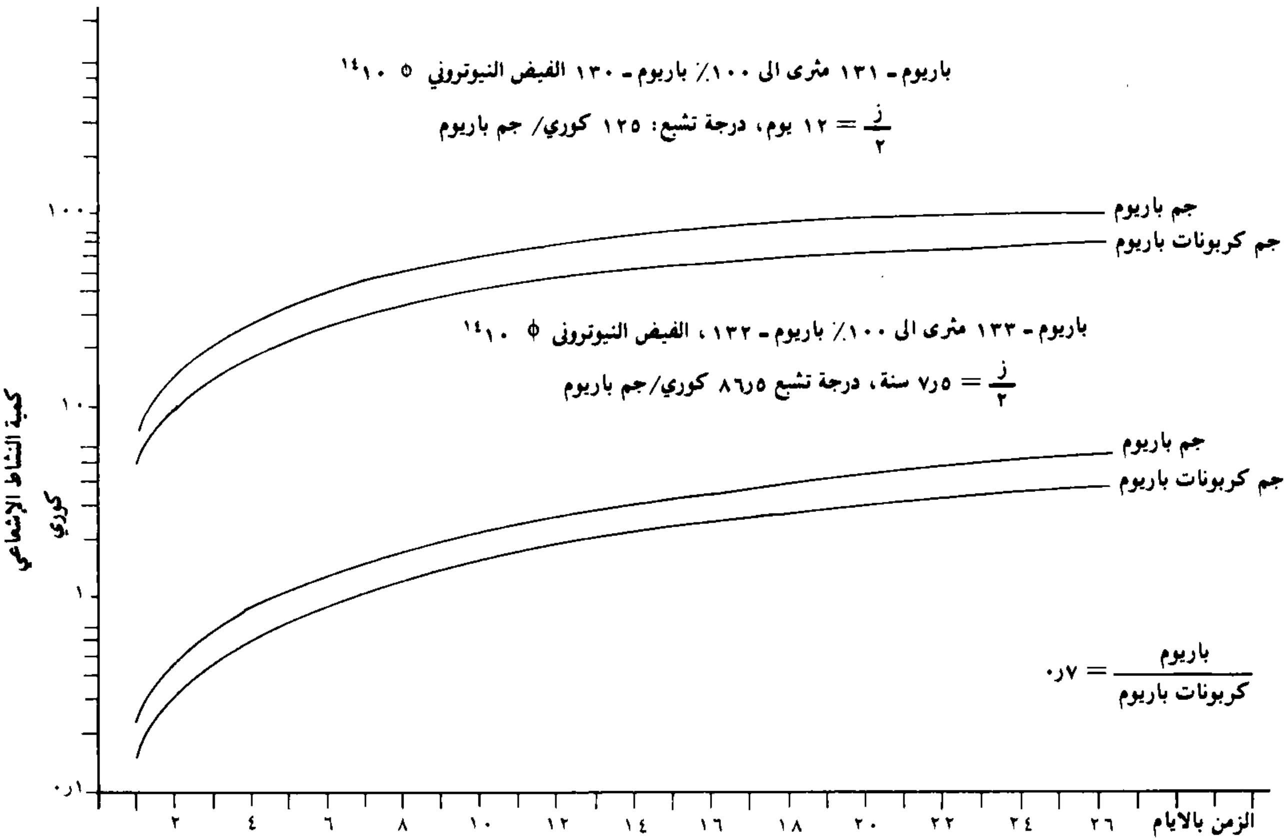


كمية النشاط الاشعاعي
مللكوري
٣٠٠
٢٠٠
١٠٠
١٠
١
٠ر١
كادميوم - ١٠٩ ، ن/٢ = ٣ر١ سنة ، درجة تشبع : ١٦ر٨ كوري/جم كادميوم
كادميوم - ١١٥ ، ن/٢ = ٤٣ يوم ، درجة تشبع : ١٠٢ مللیكوري/جم كادميوم
كادميوم - ١٠٩ ، الفيض النيوتروني ϕ ١٠^١٤
مثرى الى ٦ر٦٨٪ كادميوم - ١٠٨
كادميوم - ١١٣ ، ن/٢ = ١ر٥ سنة ، درجة تشبع ٩ر٢٧ مللیكوري/جم كادميوم
كادميوم / أكسيد كادميوم = ٨٧٤ر٠
٢ ٦ ١٠ ١٤ ١٨ ٢٢ ٢٦ ٣٠ ٣٤ ٣٨ ٤٠ ٤٢ ٤٦ ٥٠
الزمن بالأيام

(شكل ٣٥)

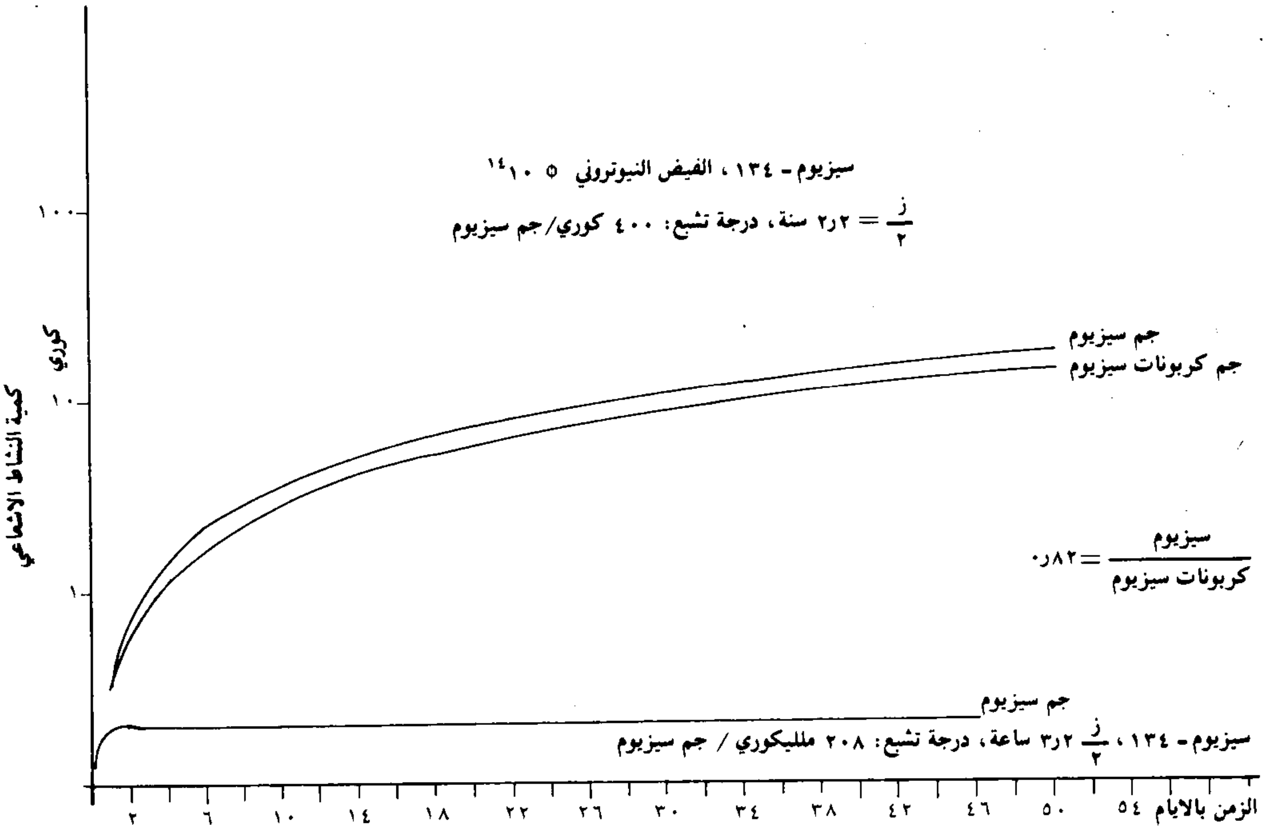

باريوم - ١٣٣ ، باريوم - ١٣١ ، الفيض النيوتروني ϕ ١٠^١٤
جم باريوم
جم كربونات باريوم
باريوم - ١٣١ ، ن/٢ = ١٢ يوم، درجة تشبع: ١٢٥ ملليكوري/جم باريوم
جم باريوم
جم كربونات باريوم
باريوم - ١٣٢ ، ن/٢ = ٥ر٧ سنة، درجة تشبع: ٨٠ ملليكوري/جم باريوم
باريوم / كربونات باريوم = ٧ر٠
كمية النشاط الإشعاعي
ملليكوري
١٠٠
١٠
١
١ر٠
١٠
٣٠
٥٠
٧٠
٩٠
١١٠
١٣٠
١٥٠
١٧٠
١٩٠
٢١٠
٢٣٠
٢٥٠
٢٧٠
٢٩٠

(شكل ٣٦)



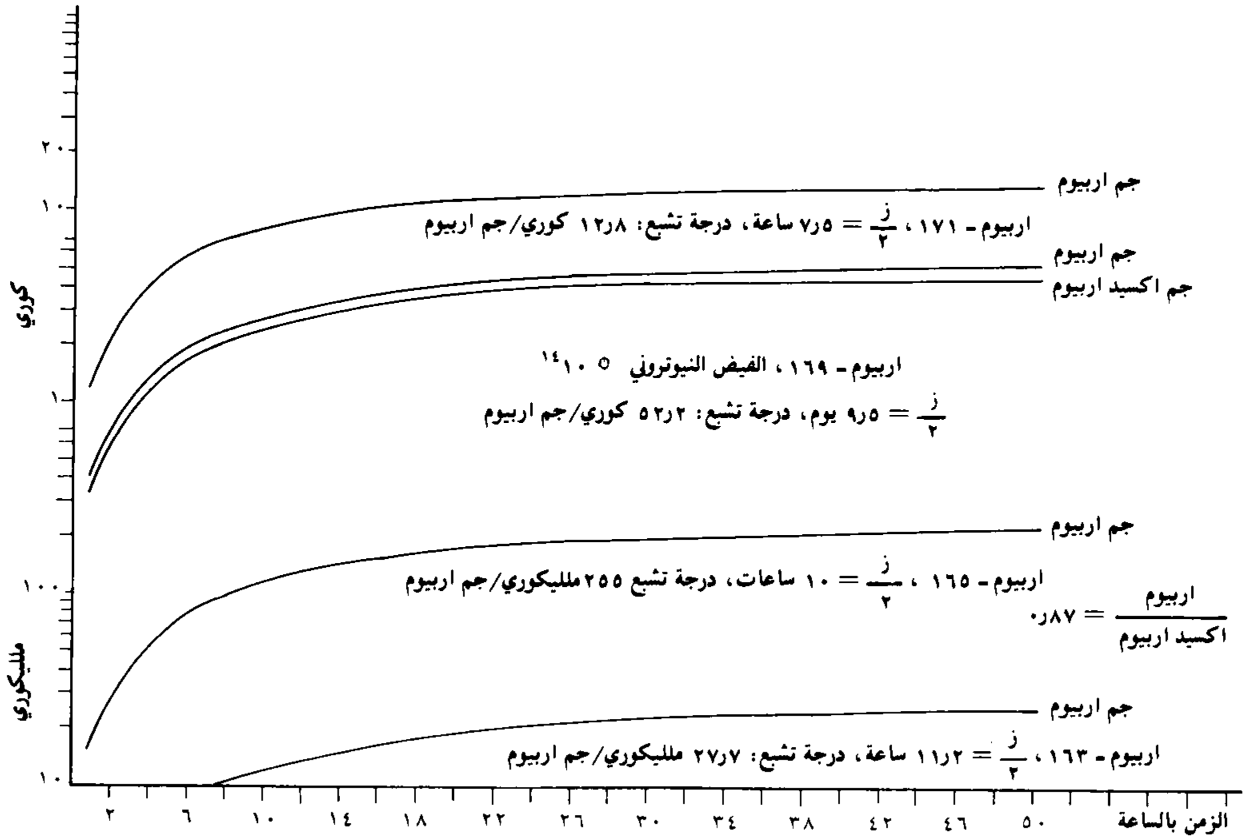
باريوم - ١٣١ مثرى الى ١٠٠٪ باريوم - ١٣٠ الفيض النيوتروني Φ ١٠^١٤
ز/٢ = ١٢ يوم، درجة تشبع: ١٢٥ كوري/ جم باريوم
جم باريوم
جم كربونات باريوم
باريوم - ١٣٣ مثرى الى ١٠٠٪ باريوم - ١٣٢ ، الفيض النيوتروني Φ ١٠^١٤
ز/٢ = ٥ر٧ سنة، درجة تشبع ٥ر٨٦ كوري/جم باريوم
جم باريوم
جم كربونات باريوم
باريوم / كربونات باريوم = ٧ر٠
كمية النشاط الإشعاعي
كوري
١٠٠
١٠
١
١ر٠
٢
٤
٦
٨
١٠
١٢
١٤
١٦
١٨
٢٠
٢٢
٢٤
٢٦
الزمن بالايام

(شكل ٣٧)



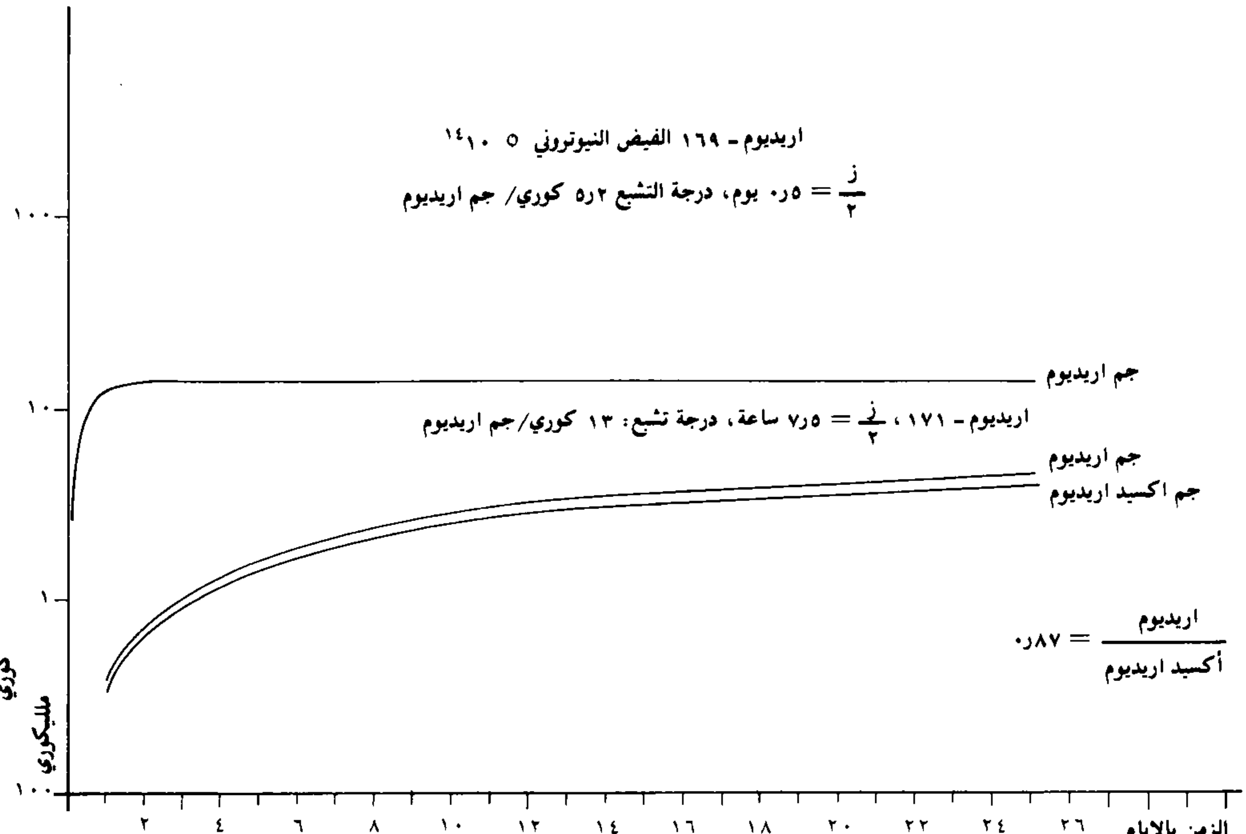
سيزيوم - ١٣٤ ، الفيض النيوتروني ٥ ١٠ ١٤
ز/٢ = ٢ر٢ سنة ، درجة تشبع: ٤٠٠ كوري/جم سيزيوم
جم سيزيوم
جم كربونات سيزيوم
سيزيوم / كربونات سيزيوم = ٨٢ر٠
جم سيزيوم
سيزيوم - ١٣٤ ، ز/٢ ٣ر٢ ساعة ، درجة تشبع: ٢٠٨ ملليكوري / جم سيزيوم
كمية النشاط الاشعاعي
كوري
١٠٠
١٠
١
الزمن بالايام
٢ ٦ ١٠ ١٤ ١٨ ٢٢ ٢٦ ٣٠ ٣٤ ٣٨ ٤٢ ٤٦ ٥٠ ٥٤

(شكل ٣٨)



كمية النشاط الاشعاعي
كوري
مللیكوري
٢٠
١٠
١
١٠٠
١٠
جم اربيوم
اربيوم - ١٧١ ، ز/٢ = ٥ر٧ ساعة، درجة تشبع: ٨ر١٢ كوري/جم اربيوم
جم اربيوم
جم اكسيد اربيوم
اربيوم - ١٦٩ ، الفيض النيوتروني ٥ ١٠^١٤
ز/٢ = ٥ر٩ يوم، درجة تشبع: ٢ر٥٢ كوري/جم اربيوم
جم اربيوم
اربيوم - ١٦٥ ، ز/٢ = ١٠ ساعات، درجة تشبع ٢٥٥ مللیكوري/جم اربيوم
اربيوم / اكسيد اربيوم = ٨٧ر٠
جم اربيوم
اربيوم - ١٦٣ ، ز/٢ = ٢ر١١ ساعة، درجة تشبع: ٧ر٢٧ مللیكوري/جم اربيوم
٢
٦
١٠
١٤
١٨
٢٢
٢٦
٣٠
٣٤
٣٨
٤٢
٤٦
٥٠
الزمن بالساعة

(شكل ٣٩)



اريديوم - ١٦٩ الفيض النيوتروني ٥ ١٠^١٤
ز/٢ = ٥ر٠ يوم، درجة التشبع ٢ر٥ كوري/ جم اريديوم
جم اريديوم
اريديوم - ١٧١ ، ز/٢ = ٥ر٧ ساعة، درجة تشبع: ١٣ كوري/جم اريديوم
جم اريديوم
جم اكسيد اريديوم
اريديوم / أكسيد اريديوم = ٨٧ر٠
كمية النشاط الاشعاعي
كوري
مليكوري
١٠٠
١٠
١
١٠٠
٢
٤
٦
٨
١٠
١٢
١٤
١٦
١٨
٢٠
٢٢
٢٤
٢٦
الزمن بالايام

(شكل ٤٠)

أما الطريقة الثانية فيمكن الحصول على اليود المشع١٣١ من الانحلال الاشعاعي لنظير التيلوريوم المشع١٣١ الناتج من تشعيع التيلوريوم المستقر.

الطريقة الأولى تحتاج الى تجهيزات معملية كثيرة ومعقدة حيث يتم استخلاص نظائر مشعة عديدة ولكن لها ميزة يمكن عن طريقها انتاج كميات كبيرة من النظائر المشعة دفعة واحدة.

أما الطريقة الثانية فانها تتميز بانتاج اليود المشع١٣١ بطريقة أبسط وتحتاج إلى تكاليف أقل من ناحية التجهيزات المعملية.

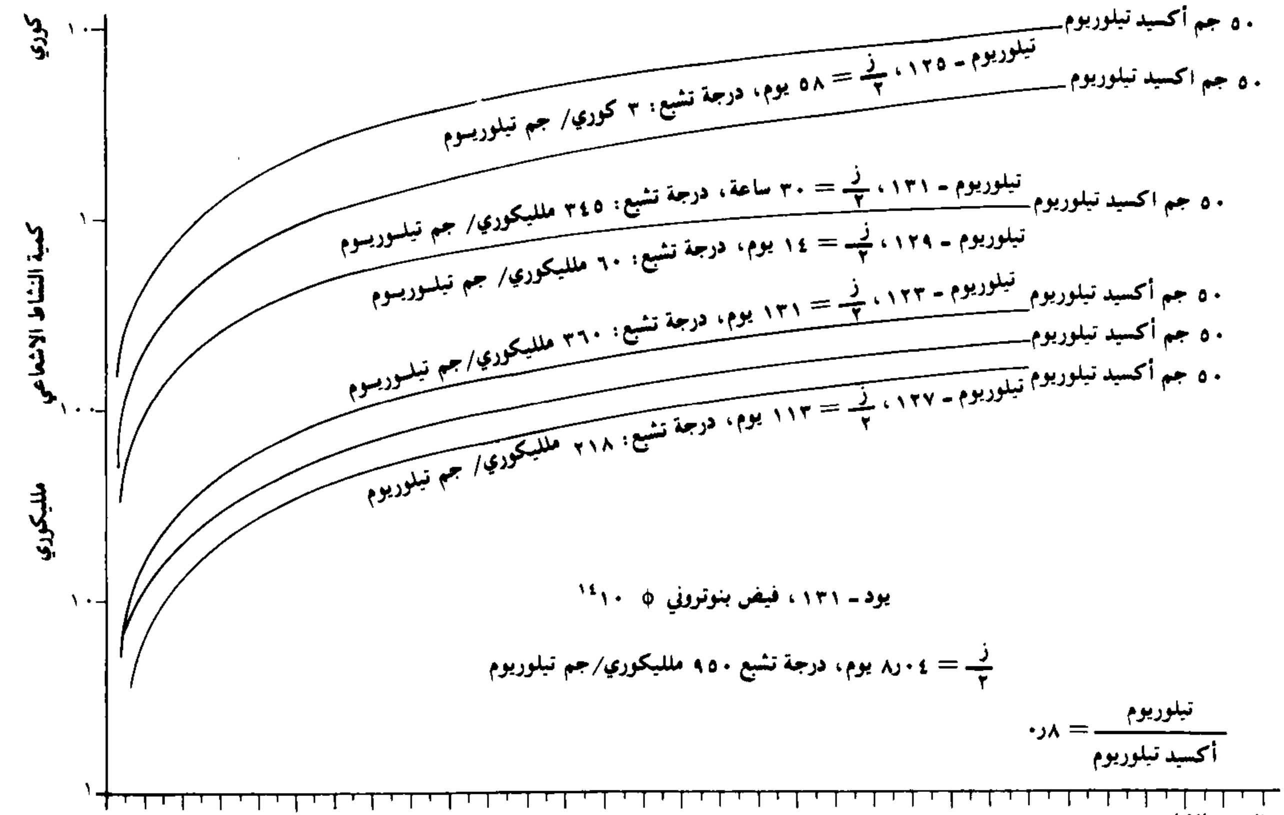
الأهداف المستخدمة في طريقة التشعيع هي فلز معدني التيلوريوم وأكسيد التيلوريوم وحامض الأرثوتلوريك أو حامض الميتاتليرك.

امكانية الاختيار متاحة لانقاص الحيز المشغول بالهدف داخل المفاعل.

ويوضح (شكل ٤١) عملية تشعيع التيلوريوم (في صورة أكسيد التيلوريوم).

التفاعل النووي: إلتيلوريوم١٣٠ (ن، ɣ) التيلوريوم١٣١ اليود١٣١.

وهذا التفاعل النووي يسمح بالحصول على اليود المشع١٣١ على صورة ذرات كلها مشعة (غير محملة) carrier free ولكن التنشيط الاشعاعي لنويدات التيلوريوم يعطي خليطاً من النظائر المختلفة لليود حيث نجد أن كل خمس ذرات غير مشعة (مستقرة) يوجد بينها ذرة واحدة من اليود المشع١٣١ ومن أجل فصل ذرات اليود المشع١٣١ عن ذرات التيلوريوم هناك طريقتان: الطريقة الأولى تعتمد على التقطير الجاف لليود والثانية تعتمد على التقطير الرطب بعد أن يجري الذوبان في محلول حامض قوي وهناك عدة طرق منشورة في هذا المجال ولكن ليس من الضروري مناقشتها بالتفصيل وسيكتفى هنا بذكر الاحتياطات الأولية الواجب مراعاتها. وتستخدم الطريقة الجافة في حالة قدرة جهاز التشعيع على أن تظل الزيادة في درجة الحرارة للهدف المشع تحت درجة ٣٠٠°م ولكن لو زادت درجة الحرارة عن ذلك فربما يحدث تغير في وحدات



كمية النشاط الاشعاعي
كوري
ملليكوري
١٠٠
١٠
١
١٠٠
١٠
١
٥٠ جم أكسيد تيلوريوم
تيلوريوم - ١٢٥ ، ز/٢ = ٥٨ يوم، درجة تشبع: ٣ كوري/ جم تيلوريوم
٥٠ جم اكسيد تيلوريوم
تيلوريوم - ١٣١ ، ز/٢ = ٣٠ ساعة، درجة تشبع: ٣٤٥ ملليكوري/ جم تيلوريوم
٥٠ جم اكسيد تيلوريوم
تيلوريوم - ١٢٩ ، ز/٢ = ١٤ يوم، درجة تشبع: ٦٠ ملليكوري/ جم تيلوريوم
٥٠ جم أكسيد تيلوريوم
تيلوريوم - ١٢٣ ، ز/٢ = ١٣١ يوم، درجة تشبع: ٣٦٠ ملليكوري/جم تيلوريوم
٥٠ جم أكسيد تيلوريوم
٥٠ جم أكسيد تيلوريوم
تيلوريوم - ١٢٧ ، ز/٢ = ١١٣ يوم، درجة تشبع: ٢١٨ ملليكوري/ جم تيلوريوم
يود - ١٣١ ، فيض بنوتروني ϕ ١٠^١٤
ز/٢ = ٨٫٠٤ يوم، درجة تشبع ٩٥٠ ملليكوري/جم تيلوريوم
تيلوريوم / أكسيد تيلوريوم = ٠٫٨
الزمن بالايام

(شكل ٤١)

البناء البللوري لأكسيد التاليوم يؤدي الى أن ذرات اليود المشع١٣١ سوف تمسك (تثبت) ومن ثم يصبح من غير الملائم اتباع الطريقة الجافة.

وبسبب قلة النشاط الاشعاعي الناتج وكذا طول فترة نصف العمر لنظير التيلوريوم المشع كما هو واضح في **الجدول التالي** فان طريقة الانتاج التي تعتمد على الفصل من نواتج الانشطار النووي لوقود المفاعل تعتبر أكثر فعالية في التحصل على اليود المشع١٣١ وبدرجة عالية من النقاوة الاشعاعية.

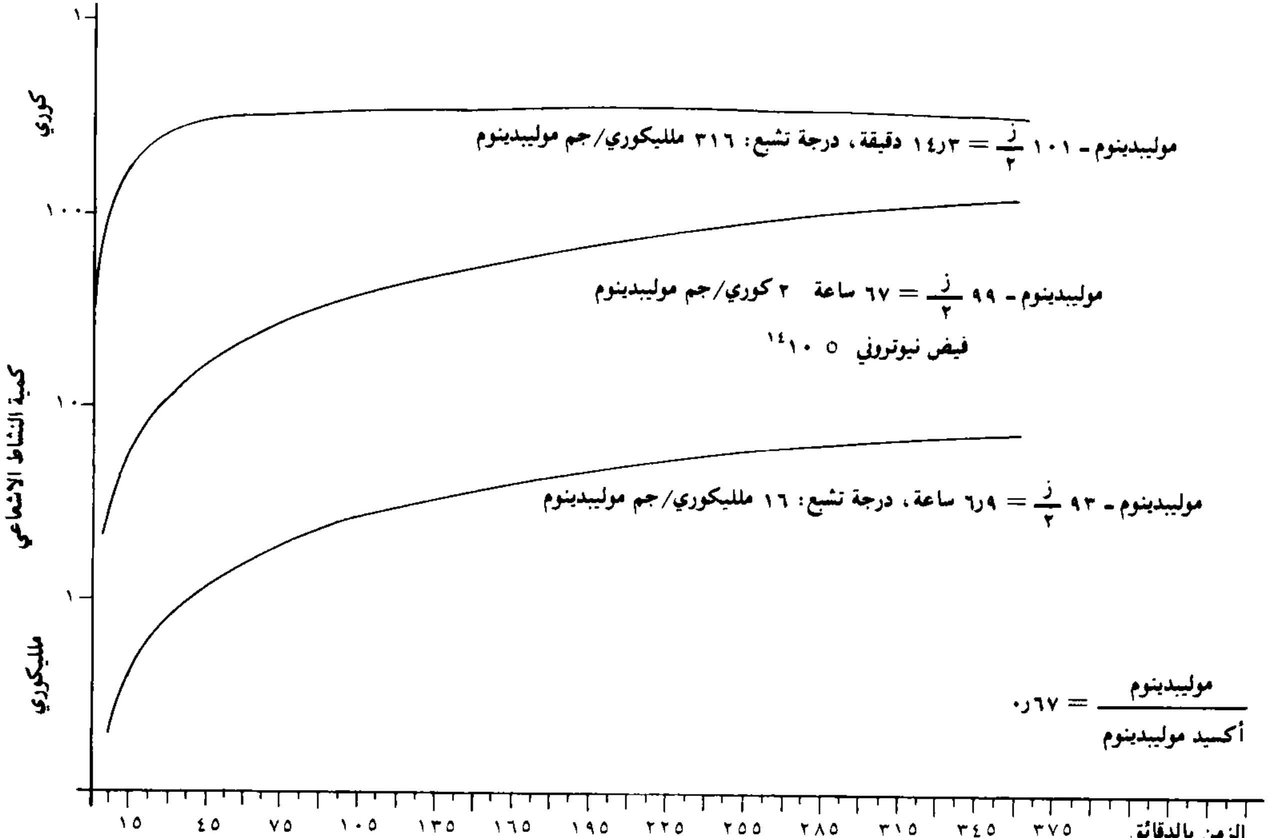
الموليبدينوم المشع٩٩ :

ينتج الموليبدينوم المشع٩٩ بصفة رئيسية من أجل تحضير التكنيسيوم المشع٩٩ المولد. وهناك وسيلتان للانتاج:

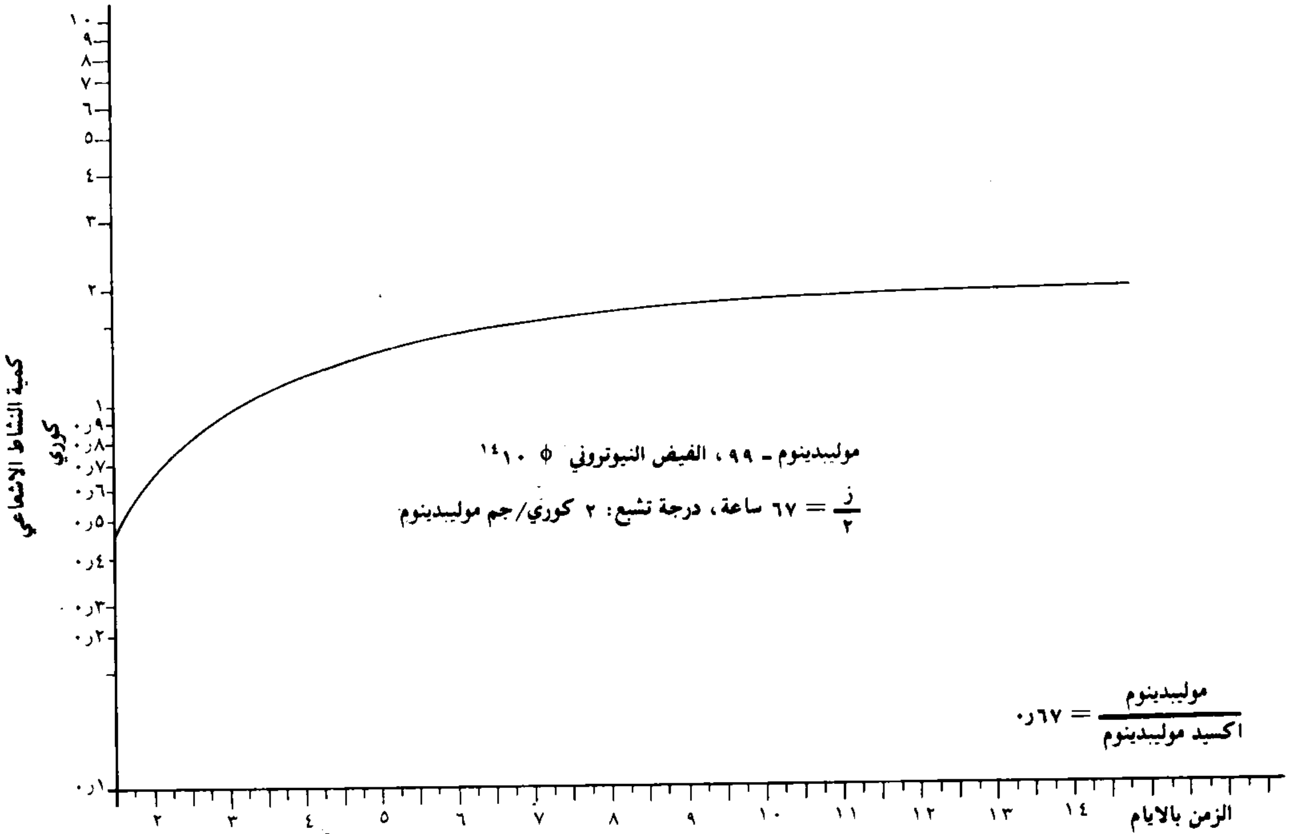
- الاستخلاص من نواتج الانشطار النووي الناتجة من تشعيع اليورانيوم٢٣٥.
- تشعيع الموليبدينوم الطبيعي أو الموليبدينوم ٩٨ المثرى باستخدام مو أ$_٣$ (أكسيد الموليبدينوم) كهدف تشعيع.

الطريقة الأولى: كما هو الحال في انتاج اليود المشع١٣١ تستلزم أجهزة على درجة عالية من الدقة والتعقيد ولكن لها ميزة الانتاج بكمية كبيرة ودفعة واحدة. والميزة الرئيسية لهذه الطريقة في الانتاج انه يمكن الحصول على الموليبدينوم المشع٩٩ على صورة ذرات كلها مشعة carrier free الذي يحتاج اليه لتحميل العناصر المولدة generators ذات درجة النشاط الاشعاعي العالي.

أما الطريقة الثانية في الانتاج فانها تعطي فقط ٢ كوري/جم عند التشبع at saturation بالموليبدينوم الطبيعي، ٨ كوري/جم في حالة استخدام المادة المثراةوذلك عند فيض نيوتروني قدره١٠ ١٤ نيوترون/ سم$^{-٢}$/ث$^{-١}$ (شكل٤٢، شكل ٤٣). والجدول التالي يوضح المقارنة بين طريقتي الانتاج المذكورتين.


كوري
كمية النشاط الاشعاعي
ملليكوري
١٠٠
١٠
١
موليبدينوم - ١٠١ ز/٢ = ١٤ر٣ دقيقة ، درجة تشبع : ٣١٦ ملليكوري/جم موليبدينوم
موليبدينوم - ٩٩ ز/٢ = ٦٧ ساعة ٢ كوري/جم موليبدينوم
فيض نيوتروني ٥ ١٠ ١٤
موليبدينوم - ٩٣ ز/٢ = ٩ر٦ ساعة ، درجة تشبع : ١٦ ملليكوري/جم موليبدينوم
موليبدينوم / أكسيد موليبدينوم = ٦٧ر٠
١٥ ٤٥ ٧٥ ١٠٥ ١٣٥ ١٦٥ ١٩٥ ٢٢٥ ٢٥٥ ٢٨٥ ٣١٥ ٣٤٥ ٣٧٥
الزمن بالدقائق

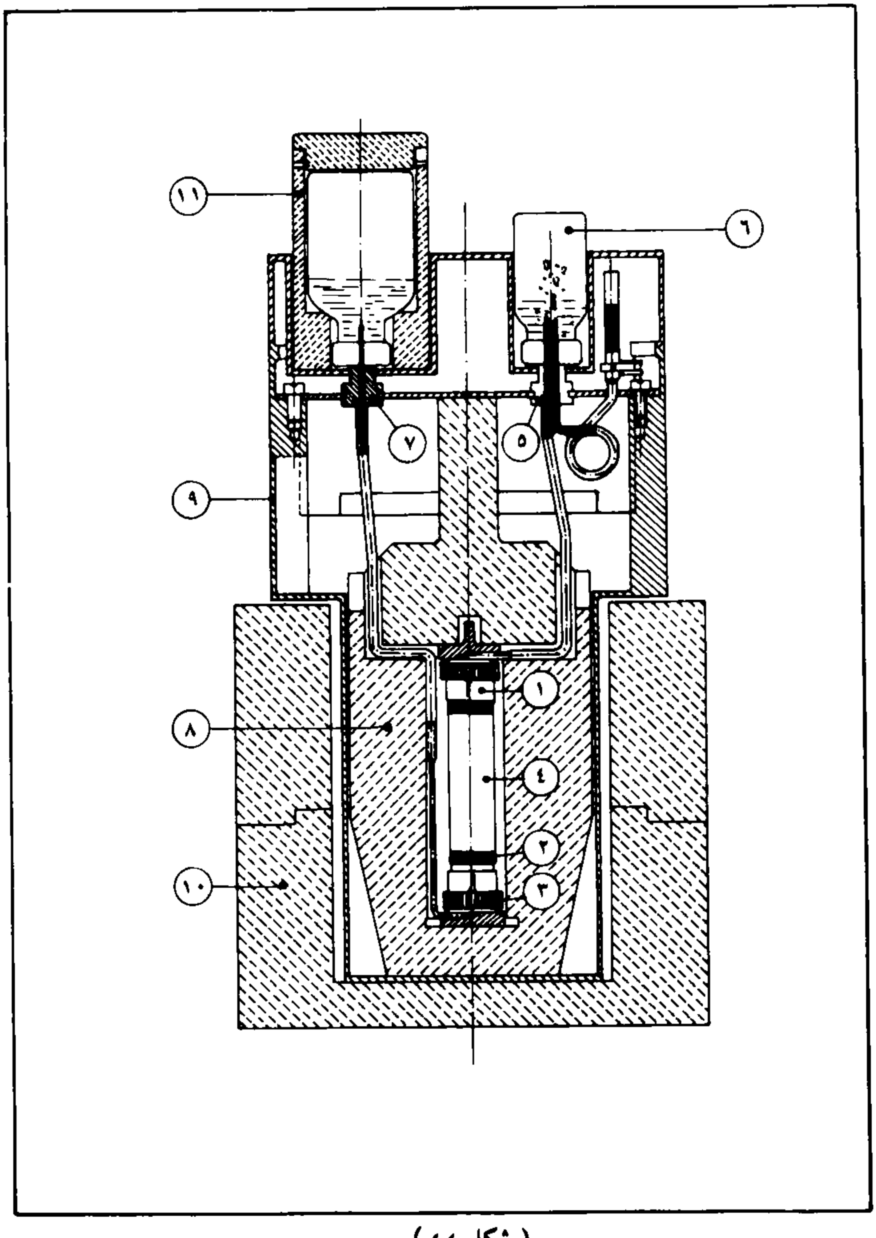
(شكل ٤٢)


كمية النشاط الاشعاعي
كوري
موليبدينوم ـ ٩٩ ، الفيض النيوتروني ф ١٠^١٤
ز/٢ = ٦٧ ساعة ، درجة تشبع: ٢ كوري/جم موليبدينوم
موليبدينوم / اكسيد موليبدينوم = ٠ر٦٧
الزمن بالايام

(شكل ٤٣)

قبل اجراء عملية التحميل المذكورة سابقاً على عمود الالومينا يجب ضبط الـ pH للمحلول ما بين ٣ ـ ٥ر٣ باستخدام حامض النيتريك (يد ن أ$_{٣}$) المخفف وفوق أكسيــد الايدروجــين (يـد$_{٢}$أ$_{٢}$) أو محلول هيبوكلوريــد الصوديوم ص$_{}$أ كل) الذي يجب اضافته حتى يكون الموليبدينوم والبيرتكنيتات pertechnetate في أعلى حالات التكافؤ. ثم يمرر محلول الموليبدينوم المشع^{٩٩} خلال العمود بمعدل بطيء (٥ر٠ مل/دقيقة) ثم يغسل العمود بعد ذلك بما لا يقل عن ٢٠٠ مل من محلول ملحي فسيولوجي من أجل ازالة حموضة المحلول. وتعتمد الالومينا اللازمة لتلك العملية على النشاط النوعي الاشعاعي للموليبدينوم المشع^{m٩٩} ويوضح (شكل ٤٤) مولد التكنيسيوم المشع^{٩٩} والذي يتكون من:

(١) عمود من الزجاج.
(٢) مرشح زجاجي مغطى باللباد.
(٣) سدادات من المطاط، سدادات (كبسولات) من الالومنيوم.
(٤) عمود الومينا.
(٥) ابرة مزدوجة مزودة بمدخل للهواء.
(٦) عبوة تحتوي على محلول الاحلال.
(٧) ابرة مثبتة لكي تتخلل الى أسفل في تجويف عبوة مفرغة.
(٨) وعاء حاوي ذو جدران واقية من الرصاص بسمك ٣٠ مم.
(٩) غطاء من البلاستيك.
(١٠) حاجز واقي اضافي من الرصاص بسمك ٥ر٣٢ مم.
(١١) وعاء حاوي صغير له غطاء يتصل به بواسطة لولب أو قلاووظ.



(شكل ٤٤)

التحلل الاشعاعي بالملليكوري للتيلوريوم^{١٣١} الناتج من تشعيع ٥٠ جم من أكسيد التيلوريوم لمدة ٧ أيام بفيض نيوتروني قدره ١٠^{١٤} نيوترون/سم$^{-٢}$/ث$^{-١}$

النظير المشع	ز/٢		ك=٠	ك = ١ (ساعة)	ك = ٢ (ساعة)	ك = ٣ (ساعة)	ك = ٤ (ساعة)	ك = ٥ (ساعة)	ك = ٦ (ساعة)	ك = ١ (يوم)	ك = ٨ (يوم)	ك = ٣٠ (يوم)
تيلوريوم^{١٢١} m	١٥٠	يوم	٣٢ر٥	٣٢ر٥	٣٢ر٥	٣٢ر٥	٣٢ر٥	٣٢ر٥	٣٢ر٥	٣٢ر٢٥	٣١	٢٨ر٢
تيلوريوم^{١٢١}	١٧	يوم	١٥٥	١٥٥	١٥٥	١٥٥	١٥٥	١٥٥	١٥٥	١٥٠	١١٢	٤٨
تيلوريوم^{١٢٣} m	١١٧	يوم	٤٢٥	٤٢٥	٤٢٥	٤٢٥	٤٢٥	٤٢٥	٤٢٥	٤٢٥	٤٠٥	٣٥٥
تيلوريوم^{١٢٥} m	٥٨	يوم	٢٦	٢٦	٢٦	٢٦	٢٦	٢٦	٢٦	٢٦	٢٣ر٥	١٨ر٢
تيلوريوم^{١٢٧} m	١٠٥	يوم	٣٥٠	٣٥٠	٣٥٠	٣٥٠	٣٥٠	٣٥٠	٣٥٠	٣٥٠	٣٣٠	٢٨٦
تيلوريوم^{١٢٧}	٩ر٣	ساعة	٥٧٥٠٠	٥٣٠٠٠	٤٩٥٠٠	٤٦٠٠٠	٤٢٥٠٠	٣٩٦٠٠	٣٦٧٠٠	٩٥٠٠	٠ر٠٠٦	-
تيلوريوم^{١٢٩} m	٣٣ر٥	يوم	٢٠	٢٠	٢٠	٢٠	٢٠	٢٠	٢٠	١٩ر٦	١٧	١٠ر٧
تيلوريوم^{١٢٩}	٧٢	دقيقة	٣١٥٠٠	١٧٦٠٠	٩٩٠٠	٥٥٠٠	٣١٥٠	١٧٣٠	٩٨٠	٠ر٠٣١	-	-
تيلوريوم^{١٣١} m	١٠٤	يوم	٤٢٥٠	٤٢٥٠	٤٢٥٠	٤٢٥٠	٤٢٥٠	٤٢٥٠	٤٢٥٠	٤٢٢٠	٤٠٠٠	٣٥٠٠
تيلوريوم^{١٣١}	٢٤	دقيقة	٢٤٧٥٠	٤٣٣٠	٧٧٠	١٣٠	٢٤٠	-	-	-	-	-
يود^{١٣١}	٨ر١	يوم	١٢٥٠٠	١٢٥٠٠	١٢٤٥٠	١٢٤٠٠	١٢٣٥٠	١٢٣٥٠	١٢٢٥٠	١١٤٠٠	٦٣٠٠	٩٤٠
انتيمون^{١٢٢}	٢ر٧٤	يوم	١٤٤	١٤٢ر٥	١٤١	١٣٩ر٤	١٣٨ر١	١٣٦ر٥	١٣٥	١٠٨ر٧	١٨ر٧	٠ر٩٥
انتيمون^{١٢٤}	٦٠	يوم	٤ر٧١	٤ر٧١	٤ر٧١	٤ر٧١	٤ر٧١	٤ر٧١	٤ر٧١	٤ر٦٨	٤ر٢٨	٣ر٢٢

ك = زمن التحلل الاشعاعي للتيلوريوم^{١٣١} بعد إتمام التشعيع.

ز/٢ = فترة نصف العمر.

جدول يوضّح مميزات وعيوب طريقتي انتاج النظير المشع الموليبيدينوم ٩٩

الطريقة	المميزات	العيوب
انتاج الموليبــدينوم ٩٩ بواسطة تشعيع الموليبــدينوم ٩٨	١ ـ طريقة كيماوية سهلة ٢ ـ النظير الناتج فقط هو الموليبدينوم ٩٩ (دون شوائب) ٣ ـ لا توجد مشكلة ارتفاع الحرارة بالنسبة للهدف المشع ٤ ـ لا توجد مشكلة نفايات نووية تذكر ٥ ـ ليست هناك شوائب من جسيمات الفا	١ ـ درجة النشاط النوعي للنظير الناتج منخفضة نسبياً في حالة استخدام الموليبدينوم ٩٨ المثرى كهدف ومنخفضة جداً في حالة الموليبدنيوم الطبيعي . ٢ ـ استخدام الموليبــدينوم ٩٨ المثرى كهدف مكلف اقتصادياً ٣ ـ التشعيع لمدة لا تقل عن ٧ أيام ٤ ـ ينتج معها شوائب من نظائر مشعة ذات فترة نصف عمر طويل

الطريقة	المميزات	العيوب
انتاج الموليبدينوم ٩٩ من نواتج الانشطار النووي	١ ـ بالنسبة للهدف تعتبر الطريقة رخيصة (تكلفة اقل). ٢ ـ تمتاز بدرجة عالية من النشاط الاشعاعي النوعي ٣ ـ تمكن هذه الطريقة من الحصول على نظائر مشعة أخرى في نفس الوقت ٤ ـ تكلفة الانتاج لكل كوري اقل	١ ـ تحتاج الى عمليات فنية واجهزة علمية على درجة عالية من الدقة والتعقيد. ٢ ـ توجد عدد من النظائر المشعة مع النظير المنتج يجعل كمية النشاط الاشعاعي للموليبدينوم المشع لن تمثل أكثر من ٦٪ من كمية الاشعاع الكلي الناتج. ٣ ـ ينتج عنهانفايات ذرية كبيرة وخطيرة ٤ ـ تحتاج الى تقنية خاصة معقدة بالنسبة للهدف. ٥ ـ توجد شوائب نووية تنطلق منها جسيمات الفا وبيتا واشعة جاما.

مجموعات المستحضرات الصيدلية الباردة
والمرقمة باستخدام التكنسيوم

Cold Kits for Technetium Labelling

ان معظم المستحضرات الصيدلية المشعة تكون نويداتها في الصورة المختزلة وقد استخدم لهذا الغرض عدد كبير من العوامل المختزلة، بيد أن أملاح القصديروز وخاصة في صورة كلوريد هي الاختيار العلمي في غالبية المستحضرات المستخدمة طبياً، والجدول التالي يوضح قائمة مطولة للمنتجات التي يتم ترقيمها بواسطة نظير تكنيسيوم.

وقبل أن تطرح مجموعة المستحضرات الصيدلية ـ تجارياً بحيث يمكن استخدامها في مختلف المستشفيات فانه يجب أن تجرى عليها العديد من التجارب والاختبارات ويشمل ذلك القياسات القبل إكلينيكية، دراسة وتحديد التركيب الجاليني النهائي وكذلك تجارب على الأصحاء وفي النهاية اجراء التقيم الاكلينيكي في قسم الطب النووي، ولكي يتم تحضير هذه المستحضرات الصيدلية المشعة الباردة بعناية فانه يجب مراعاة الاحتياجات الطبيعية والشروط الضرورية لذلك مثل القواعد الصحية والنظافة واحترام قواعد عمليات التصنيع الجيدة وفي النهاية مراقبة صارمة للجودة.

المنتجات

- زلال آدمي.
- مجمعات كبيرة من الزلال الآدمي.
- زلال آدمي ذات أجسام كروية صغيرة.
- زلال آدمي ذات أجسام كروية صغيرة جداً.

- معقد من DTPA (ثنائي الاثيلين ثلاثي الأمين - خماس - حامض الخليك) .
- جلوكونات القصدير .
- بيروفوسفات القصدير .
- كبريت غروي .
- قصدير غروي .
- ميثيلين ثنائي الفوسفونات .
- كرات دم حمراء .
- فيتات .
- بنسلين امين .
- ن - ٢ - ٦ - ثنائي الميثيل فينيل كربامايل ميثيل امينو ثنائي حمض الخليك (HIDA) .
- كلوريد القصديروز يدخل في تركيب مجموعة المستحضرات الصيدلية .
- مجموعة مركبات الالبومين (الزلال) :

$$\frac{\text{كلوريد القصديروز}}{\text{الالبومين}} = ٠٫٠٤\% \text{ الى } ١٫٦\%$$

$$\text{نسبة } \frac{\text{كلوريد القصديروز}}{\text{المجموعات الكبيرة من الالبومين}} = ٠٫٣٣\% \text{ الى } ٣٨\%$$

وعلى الرغم مما ذكر في فصول أخرى من هذا البحث عن اختيار وتصميم الامكانيات والتسهيلات اللازمة التي تستخدم في تكوين المستحضرات الصيدلية المعقمة فانه نظراً لاهمية هذا الموضوع فقد رؤي انه يجب في هذا المجال ذكر بعض الملاحظات والتعليقات الاضافية . فقد وجد أن مواصفات أي مستحضر

صيدلي مشع سواء من ناحية النوعية ومدى المطابقة والقوة والجودة ودرجة النقاوة ترتبط مباشرة بالظروف البيئية المحيطة التي تم فيها انتاجها . وينطبق ذلك تماماً على انتاج وتكوين مجموعة المركبات الصيدلية المعقمة أو أي مستحضر صيدلي آخر يتم انتاجه ، كما ينطبق أيضاً على وجه الخصوص على أي شكل من المستحضرات الصيدلية لغرض ادخاله في الجسم عن طريق الحقن . ان تقدير مدى كفاءة الموقع والتسهيلات والامكانيات المتاحة من أجل انتاج أو تكوين المركبات الصيدلية المشعة أو تكوين المركبات المعقمة لا يعتبر دائماً مقياساً لمراقبة الجودة . وعلى كل فانه وبصفة خاصة على مستوى المستشفيات وعيادة الطب النووي يجب أن يتم بدون شك فحص واختبار تلك المواد كجزء من برنامج مراقبة الجودة .

وعند تقييم مكان قائم فعلا ومدى ملاءمته لعمليات تصنيع وتركيب المستحضرات الصيدلية المحقونة ، فانه من الواجب الأخذ في الاعتبار مواد البناء المستخدمة ، ومعدل تدفق وحركة الهواء ، ونوعية الهواء ، ودرجة نقاوته ، ودرجة التحكم في حركة المرور والتي يمكن أن يكون لها تأثير في المنطقة التي تقع فيها المنشأة ، وأنواع الأعمال والعمليات التي تجري في المناطق المجاورة والتي لا تقع ضمن نطاق المراقبة المباشرة ومدى توفر المنافع اللازمة ، وكذلك التكاليف المطلوبة من أجل التغييرات والتعديلات الواجب ادخالها لتتلاءم مع الاحتياجات والامكانيات المطلوبة للمركبات الصيدلية المحقونة .

ان تصميم مبنى جديد من أجل هذا الغرض يمثل مشكلة لا تقل في صعوبتها وتعقيدها عن عملية تقييم مدى ملاءمة مبنى موجود فعلا ، فالمهندسون والمعماريون لا يعطون في أغلب الأحيان المعلومات والتقديرات الدقيقة الكافية بخصوص الاحتياجات المطلوبة لانشاء مثل هذا المبنى اللهم الا اذا كانوا من المتخصصين في هذا المجال . أضف الى ذلك أن الحاجة للقيام بعمليات

يدوية أو آلية معقمة في وجود مواد نشطة اشعاعياً غالباً ما تتسبب في زيادة اضطراب الموقف وهكذا فان الجمع بين متطلبات السلامة لكل من العمليات التعقيمية وأخرى تحتوي على مواد مشعة تبدو وكأنها تناقض بعضها البعض. وعلى أية حال فان الاتجاه السائد والواقع العملي يوضح وجود اما نقص (مقصور) أو زيادة (مبالغة) في متطلبات واحتياجات التصميم لهذا النوع من المنشآت، وأيهما غير مقبول رغم اختلاف الأسباب تماماً في كل منهما. فالقصور في التصميم لن يتيح الفرصة لسهولة وبساطة اداء عمليات التشغيل الآمن، في حين أن الزيادة أو المبالغة ينشأ عنها كارثة اقتصادية أو على أقل تقدير متاعب مالية.

وكمثال للمبالغة (الزيادة) في التكاليف ذلك الاصرار على تصميم حجرة خالية من الأتربة وكاملة النظافة، في حين أن طاولة (منصة) أو أكثر نظيفة يمكن أن تفي باحتياجات المناطق المعقمة، بالاضافة الى ذلك فانها تفيد في تنظيف البيئة المحيطة بالطاولات (المناضد) بواسطة منظفة كهربائية غازية

ان اختيار الاناء الحاوي لمجموعة المستحضرات الصيدلية المشعة يتطلب قدراً كبيراً من الاهتمام فمن الواجب ألا يتفاعل هذا الاناء الحاوي طبيعياً أو كيميائياً مع المركب المنتج، بأية طريقة يمكن أن تؤدي الى تغيير في الفعالية أو الجودة أو النقـاوة تحت الظروف العـاديـة للشحن والتفريـغ والتخزين والاستخدام. ولما كان العديد من مجموعات المستحضرات الصيدلية ذات فترات صلاحية طويلة قبل استخدامها في تكوين الناتج النهائي فان من الضروري حسن اختيار الاناء الحاوي لأن المكونات الكيميائية لمجموعات المستحضرات الصيدلية تكون في تلامس تام مع الاناء الحاوي لفترات زمنية طويلة، وتشمل المواد المستخدمة غالباً في صناعة الأواني الحاوية الزجاج والبلاستيك والمطاط، بالاضافة الى ذلك فان الملامسة المؤقتة مع المواد المعدنية أثناء عملية التركيب

أو أثناء عمليات الحقن (الابر تحت جلدية) يمكن أن ينشأ عنها مشاكل في بعض الأحيان. ومن الضروري أيضاً أن يوفر الاناء الحاوي للمركب المنتج ـ الحماية اللازمة ضد غزو الاحياء الدقيقة أثناء التخزين والاستعمال وأيضاً ضد التفاعلات الكيميائية الضوئية والتفاعلات المؤكسدة الأخرى والتي يمكن أن تحدث تحت تلك الظروف.

ويمكن أن تنشأ أيضاً التفاعلات بين المركب المنتج والاناء الحاوي عن طريق الذوبان والامتصاص والتي تشمل ظاهرتي الامتصاص والادمصاص وتعتمد المقاومة الكيميائية للأنواع المختلفة للزجاج على عوامل مختلفة كثيرة أهمها درجة الحموضة الخاص بالمركب المنتج، فتحت تأثير درجة الاس الايدروجين القاعدية تزيد درجة ذوبان العناصر القلوية والسليكا زيادة كبيرة خاصة عند درجات الحرارة المرتفعة مثلما يحدث أثناء عمليات التعقيم بواسطة الاتوكلاف (الحاضن).

وكثيراً ما تمثل السدادات المطاطية للزجاجات الصغيرة الجانب الأعظم في مشكلة مراقبة الجودة ليس فقط لان بعض مكونات المنتج يمكن أن تمتص بواسطة سدادات مطاطية معينة ولكن هناك أيضاً الشوائب الموجودة في مادة المطاط المصنوع منها السدادات التي تذوب وتختلط بمادة المنتج مسببة في الغالب عدم توافق كيميائي خطير، وهذه الحقيقة تصبح أكثر وضوحاً عندما يوضع في الاعتبار أن المواد التي توجد في تركيبات المطاط تشمل بالاضافة الى اللاتكس latex أو اتحاد بين اللاتكس وبوليمر مخلق فانها تتضمن في تركيبها مواداً أخرى مثل عامل لتقسية المطاط وعادة ما يستخدم في تقسية المطاط الكبريت، كما توجد أيضاً مادة معجلة تزيد من سرعة التفاعل مثل مادة 2-mercaptobenzothiazole ، كما يدخل في تركيب المطاط عامل منشط (أكسيد الزنك) وكذا مواد مالئة مثل الكربون الأسود، كما يتضمن التركيب

مواداً أخرى مختلفة تشمل مواداً مختزلة ومواداً لتقليل الاحتكاك. وهكذا يتضح أن هناك حاجة ملحة لتحديد تأثير السدادة على المستحضر الصيدلي المنتج وذلك بواسطة اجراء الطرق التحليلية عليها قبل استخدامها في غلق عبوات مجموعات المستحضرات الصيدلية المختلفة.

ومن الخصائص الفيزيائية الأخرى للسدادة والتي يجب أن توضع في الاعتبار تشمل كل من: القابلية للذوبان (الانتفاخ)، مدى القابلية لنفاذية الغازات، نفاذ البخار، درجة الصلابة، درجة الميل لعمل تجويفات داخلية، القدرة على معاودة الالتئام بعد اختراقها بإبرة.

وهكذا يتضح أن اختيار سدادة ملائمة لمستحضر صيدلي منتج تصبح عملية أكثر تعقيداً من القيام بكل بساطة بشراء كمية كبيرة من السدادات واستخدامها اعتباطياً بدون اجراء الاختبارات المناسبة واللازمة عليها.

٣ ـ ٣ ـ ٢ انتاج النظائر المشعة بواسطة السيكلوترون:

ان انتاج النظائر المشعة بواسطة السيكلوترون قد عولجت بعناية بالشرح والتوضيح في المراجع والمجلات العلمية، ولكن أية آلة أو وسيلة انتاج جديدة تتطلب من مستعملها أن يكون لديه القدرة على التكيف والتعديل بما يتلاءم مع طريقة الانتاج الجديدة. وبسبب الافتراض أن برنامج الانتاج للنظائر بواسطة المعجل الدوار (السيكلوترون) لم تتحدد معالمه بعد فاننا سنقتصر هنا على ذكر التفصيلات الخاصة بانتاج ثلاث نظائر مشعة.

اليود المشع١٢٣:

يمكن انتاج نظير اليود المشع١٢٣ سواء بطريق مباشر أو غير مباشر من

خلال قذف (تشعيع) عدد من الأهداف المختلفة بواسطة الجسيمات المشحونة. ففي الطريقة غير المباشرة يمكن الحصول على نظير اليود المشع١٢٣ من خلال التحلل الاشعاعي لنظير الزينون المشع١٢٣ بعد فترة زمنية قدرها ٢ ساعة. وعلى ذلك يعتبر الزينون المشع١٢٣ نظيراً منتجاً لنظير اليود١٢٣ . وتمتاز هذه الطريقة في الانتاج عن الطريقة المباشرة بميزتين بارزتين. الميزة الأولى انه من غير الممكن في الطريقة المباشرة انتاج نظير اليود المشع١٢٣ دون مواجهة صعوبة تواجد كميات ملحوظة من شوائب اليود المشع وبصفة خاصة الشوائب من اليود المشع١٢٤ . وهذه الشوائب الذرية تنتج من شوائب موجودة مع مادة الهدف أو من تفاعلات نووية تنافسية، وهذه الشوائب الذرية لا يمكن فصلها كيماوياً عن ذرات نظـــير اليود المشع١٢٣ .

أما في حالة انتاج اليود المشع١٢٣ من الزينون١٢٣ (كمادة وسيطة) فان هذه المشكلة غير موجودة طالما انه من السهل فصل الزينون عن اليود. والميزة الثانية ان الانحلال الاشعاعي للزينون١٢٣ ينتج عنه ذرات احادية النوع من اليود المشع١٢٣ والتي لها نشاط كيماوي كاف وطاقة رجعية recoil energy تمكن من حدوث تفاعلات الترقيم للجزيئات العضوية.

التفاعلات المباشرة:

يمكن انتاج نظير اليود المشع١٢٣ بواسطة العديد من التفاعلات النووية التي يستخدم فيها نظير الانتيمون الثابت (المستقر) أو نظائر التيلوريوم كأهداف للتشعيع والجدول التالي يوضح مجموعة من التفاعلات النووية المباشرة التي يمكن عن طريقهـا انتـــاج اليود المشع١٢٣ . وسيوضـــح في الجـــدول طـــاقـــة الجسيمات المستعملة لإحداث التفاعل النووي وكذلك كمية النشاط الاشعاعي الناتج من تشعيع نظائر أهداف مختلفة أجريت لها تثرية نظائرية.

وبصفة عامة فان انتاج نظير اليود المشع١٢٣ بالطريقة المباشرة يتم من

جدول يوضح التفاعلات النووية المستخدمة لانتاج نظير **اليود** المشع١٢٣ بالطريقة المباشرة

التفاعل			الطاقة (م . إ . ف .)	نسبة الهدف ٪	كمية النشاط الاشعاع الناتج(×)
تيلوريوم١٢٣	(برو ، ن)	يود١٢٣	١٥ر٥	٨٠	٠ر٤ - ٠ر٦
أنتيمون١٢١	(هي٤ ، ٢ ن)	يود١٢٣	٢٥ر٠	٥٧ر٣*	٠ر١٥
			٢٥ر٢ - ٣٦ر٥	٩٨ر٤	٠ر٤ - ٠ر٩
تيلوريوم١٢٢	(ديترون ، ن)	يود١٢٣	٦ر٤ - ٩ر٠	٩٥ر٤	٠ر٠٠٢ - ٠ر١٣
تيلوريوم١٢٤	(برو ، ٢ ن)	يود١٢٣	٢٥ر٠	~٩٥	٢٥ر٠ (حسابياً)
أنتيمون١٢١	(هي٣ ن)	يود١٢٣	٤ر٥ - ١٤ر٠	٩٨ر٤	(٠ر٨ - ١ر١) × ١٠-٤
تيلوريوم١٢٢	(هي٤ ، برو + ٢ ن)	يود١٢٣	٣٩ر٥ - ٤٠ر٤	٩٥ر٤	–
تيلوريوم١٢٣	(هي٣ ، برو + ن)	يود١٢٣	١٣ر٥ - ١٧ر٩	٧٣ر٣ - ٨٠ر٤	–
تيلوريوم١٢٣	(هي٣ ، برو + ٢ ن)	يود١٢٣	١٦ر٨ - ٢١ر٤	٧٦ر٥	–
أنتيمون١٢٣	(هي٣ ، ٣ ن)	يود١٢٣	٢٣ر٠	٤٢ر٨	٠ر٠٢٤

* نسبة الوفرة الطبيعية.

- كمية النشاط الاشعاعي المخصصة بهذا التفاعل لم تذكر هنا.

(×) معبراً عنها بالملليكوري/ .ميكروأمبير/ ساعة.

خلال تشعيع مسحوق من معدن الانتيمون أو التيلوريوم كهدف تشعيع وذلك بوضع مسحوق المعدن المذكور في حامل للهدف محكم الاغلاق لمنع التسرب. وبعد اتمام التشعيع للهدف يجري بعد ذلك اذابة المعدن المشع في حامض معدني ثم يلي ذلك عملية تقطير لنظير اليود المشع١٢٣ من المحلول الحامضي المذكور وذلك في محلول قلوي مخفف من ص أ يد (أيدروكسيد الصوديوم).

تفاعل تيلوريوم١٢٣ (بروتون، نيوترون) يود مشع١٢٣ :

يستخدم هذا التفاعل في السيكلوترون الموجود في أورنل - ٨٦ وذلك بقذف نظير التيلوريوم١٢٣ المثرى بواسطة البروتونات ذات طاقة ١٥ مليون الكترون فولت فيكون التفاعل النووي الحادث هو:

تيلوريوم١٢٣ (بروتون، نيوترون) يود مشع١٢٣ ويتراوح محصول (كمية النشاط الاشعاعي) الناتج من هذا التفاعل من ٤ر٠ - ٦ر٠ ملليكوري/ ميكروأمبير/ ساعة. وباستخدام تيار من حزمة أشعة من البروتونات مقداره ١٨٠ ميكروأمبير. فانه ينتج لدينا كمية من نظير اليود المشع١٢٣ قدرها من ٦٠ - ١١٠ ملليكوري/ ساعة. وتعتمد درجة نقاوة النظير المشع الناتج (اليود١٢٣) على تركيزات الشوائب من نظائر التيلوريوم الأخرى وهي تيلوريوم١٢٤ ، تيلوريوم١٢٥ ، تيلوريوم١٢٦ ، تيلوريوم١٣٠ ، وذلك في مادة الهدف المراد تشعيعه وهو تيلوريوم١٢٣ . ومن ثم ينتج عن تعرض تلك الشوائب المذكورة لتيار البروتونات المستخدمة في القذف أن يتكون لدينا نظير اليود المشع١٢٤ وغيره من الشوائب المشعة الأخرى ذات فترة نصف العمر الطويل. ولسوء الحظ فان أعلى نسبة تثرية ممكنة لنظير التيلوريوم١٢٣ المستخدم كهدف للتشعيع في حدود نسبة ٨٠٪ بالاضافة الى التكاليف العالية لعملية التثرية هذه والتي تبلغ ٥ر١٣ دولار أمريكي لكل ملليجرام.

وتصل النسبة المئوية للشوائب المشعة من نظير اليود١٢٤ ، اليود١٢٥ ، اليود١٢٦ الى ٨ر٠ - ٠ر١ ، ٠٨ر٠ - ٣ر٠ ، ٢ر٠ - ٣ر٠٪ على التوالي.

تفاعل الانتيمون١٢١ (هي٤ ، ٢ ن) اليود١٢٣ :

يستخدم فلز الانتيمون الطبيعي في انتاج نظير اليود المشع١٢٣ عن طريق القذف بجسيمات الفا (هي٤) وذلك تبعاً للتفاعل النووي التالي :

أنتيمون١٢١ (هي٤ ، ٢ ن) يود١٢٣ . وكان أقصى محصول (منتوج) لليود المشع١٢٣ أمكن التحصل عليه هو ١٥ر. ملليكوري/ ميكروأمبير/ ساعة بواسطة القذف بجسيمات الفا ذات طاقة ٢٥ مليون الكترون فولت . وللأسف فان قصور تلك الطريقة في الانتاج يعتبر قصوراً مزدوجاً (مضاعفاً) :

أولا : فان نسبة تواجد نظير الانتيمون١٢٣ في الانتيمون الطبيعي تبلغ ٨ر٤٢٪ مما ينتج عنه تواجد كميات ملحوظة من الشوائب النووية مثل اليود المشع١٢٥ واليود المشع١٢٦ .

ثانياً : ان سمك الهدف المراد تشعيعه يجب أن يبقى دائماً أقل من السمك اللازم للتحصل على أعلى منتج (محصول) من اليود المشع١٢٣ .

هذا بالاضافة الى أن جسيمات الفا المستخدمة في قذف الهدف سوف تتناقص طاقتها عند مرورها في الأهداف ذات السمك الكبير حيث تكون نتيجة التفاعلات النووية السائدة (هي٤ ، ن) على ذرات الأهداف من نظيري الانتيمون١٢١ ، والانتيمون١٢٣ تكون شوائب نووية من نظائر اليود المشع١٢٤ ، اليود المشع١٢٦ على التوالي . ومن ناحية أخرى اذا استخدمنا جسيمات الفا ذات طاقة كبيرة في قذف أهداف ذات سمك كبير نوعاً فسوف تكون نتيجة التفاعل النووي (هي٤ ، ٣ ن) في الجزء الأمامي من الهدف المشعع تكوُّن شوائب نووية من اليود المشع١٢٤ ناتج من التفاعل المذكور مع ذرات نظير الانتيمون١٢٣ . وقد أمكن من خلال التحكم في طاقة حزمة أشعة (جسيمات) الفا المستخدمة في قذف هدف من الانتيمون الطبيعي التمكن من الاحتفاظ بكميات الشوائب النووية من نظائر اليود١٢٤ ، اليود١٢٥

واليود١٢٦ بحيث تكون أقل من مستويات ٨ر٠ ، ٣ر١ ، ١٦٪ على التوالي . وكانت كمية النشاط الاشعاعي الناتج من نظير اليود المشع١٢٣ حوالي ٤ ملليكوري/ساعة والتي تكفي لتغطية الاغراض والفحوصات الطبية في مستشفى هامرسميث Hammersmith ، وقد حاول منتجون آخرون التقليل من كمية الشوائب النووية المتكونة والمصاحبة لهذا التفاعل النووي المذكور وذلك من خلال استخدام أهداف تشعيعية من الانتيمون١٢١ ، والتي وصلت فيها نسبة التثرية الى ٤ر٩٩٪ ، حيث ذكروا انهامكنهم التقليل الى حد كبير من نسبة الشوائب النووية المذكورة ولكنهم لم يفضوا بنتائج مفصلة عن ذلك .

وقد أمكن بواسطة تشعيع أهداف من نظير الانتيمون١٢١ (نسبة التثرية وصلت فيها الى ٤ر٩٨٪) وذلك، بقذف الأهداف بجسيمات الفا تتراوح طاقتها ٠ر بين ٢٩ ـ ٣٥ مليون الكترون فولت التحصل على كمية من منتج (محصول) اليود المشع١٢٣ تتراوح بين ٤ر٠ ـ ٩ر٠ مللي كوري/ميكروأمبير/ساعة مع وجود نسبة من شوائب نظير اليود المشع١٢٤ تتراوح بين ٧ر٠ ـ ٠ر١٪ وكان سمك الأهداف المستخدمة ٧٠ ملليجرام/سم٢ . وباستخدام أهداف تشعيعية ذات سمك أكبر أمكن التحصل على منتج عال من نظير اليود المشع١٢٣ ، ولكن لسوء الحظ فان ذلك كان مصاحباً بكميات متزايدة من شوائب اليود المشع١٢٤ . وقد تمكن مركز بحوث نازا لويس NASA Lewis للمعجل الدوار (السيكلوترون) عن طريق اتباع هذه الطريقة في انتاج نظير اليود المشع من الحصول على كميات من الملليكوري من اليود المشع١٢٣ حيث أمكن فيه تعجيل حزم من اشعاعات ألفا ذات طاقة ٤٢ مليون الكترون فولت وبتيار شدته حوالي ١٠ ميكروأمبير .

ومما لا شك فيه أن كمية المنتج (النشاط الاشعاعي) من نظير اليود المشع١٢٣ الناتج من تفاعلات أشعة الفا مع ذرات نظير الانتيمون١٢١ لا يمكن أن تفي بالاستخدامات المتزايدة من هذا النظير .

تفاعل التيلوريوم١٢٢ (ديترون ، ن) اليود١٢٣ :

تمت تجربة هذا التفاعل باستخدام ديترونات تتراوح طاقتها بين ٤ر٦ -٠ر٩ مليون الكترون فولت في قذف أهداف من التيلوريوم١٢٢ المثرى بنسبة ٤ر٩٥٪ . وكان المحصول الناتج من اليود المشع١٢٣ يتراوح ما بين ٠٠٢ر٠ - ١٣ر٠ ملليكوري/ميكروأمبير/ساعة . هذا التباين الكبير المذكور ربما يُعزى الى تباين طاقة حزمة الجسيمات المصطدمة اذا ما قورنت بطاقة حاجز كولمب اللازم لاتمام هذا التفاعل والتي حسبت ووجد أن قيمتها ٨ مليون الكترون فولت . والشوائب النووية المصاحبة لانتاج اليود المشع١٢٣ باستخدام هذه الطريقة تنتج بصفة أساسية من التفاعلات النووية (ديترون ، ن) ، (ديترون ، ٢ ن) مع شوائب التيلوريوم والموجودة في الهدف المشعع . وقد وجد أن نسبة الشوائب النووية من نظائر اليود١٢٤ ، اليود١٢٥ ، اليود١٢٦ ، اليود١٣٠ واليود١٣١ كانت تقريباً ٢ر٠ ، ٠٢ر٠ ، ١ر٠ ، ٠ر١ ، ١ر٠٪ على التوالي.

هذا وقد أمكن الحصول على التيلوريوم المثرى بنسبة ٤ر٩٥٪ بتكلفة قدرها ٦٠ر٣ دولار لكل مجم . وقد أُفيد أن هذاالتفاعل النووي تيلوريوم١٢٢ (ديترون ، ن) يود١٢٣ قد استخدم من قبل شركات المعالجة الطبية لانتاج كميات للبيع من نظير اليود المشع١٢٣ . ولكن لم تنشر معلومات مفصلة عن التقنية (الطريقة) المستخدمة . وقدرت كمية المحصول الناتج بـ ١٠ ملليكوري/ساعة وذلك باستخدام نوع من المعجلات المحكمة من نوع سيكلوترون سي . إس . ٢٢ CS22 Cyclotron Corp. التي تمكن من تعجيل حزمة خارجية من الديترونات بتيار يتراوح ما بين ٥٠ - ١٠٠ ميكروأمبير . وقد أفادت شركات المعالجة أن نسبة الشوائب النووية من اليود١٢٤ ، كانت (أقل من ١٪) ومن اليود١٢٦ (أقل من ٥ر٠) ومن اليود١٣٠ (أقل من ٣٪) ومن اليود١٣١ (أقل من ٥ر٠) وتتفق هذه القيم مع النتائج السابقة.

تفاعل التيلوريوم١٢٤ (برو، ٢ نيو) اليود١٢٣ :

يمكن بواسطة هذا التفاعل انتاج ٢٥ ملليكوري/ميكروأمبير/ساعة من اليود المشع١٢٣ وذلك باستخدام بروتونات معجلة بطاقة ٢٥ مليون الكترون فولت في قذف هدف التيلوريوم١٢٤ المثرى بنسبة ٩٥٪ وكان سمك الهدف ٨٠٠/مجم/سم٢. ويمتاز هذا التفاعل ببعض المميزات عن سابقيه أي عن تفاعل تيلوريوم١٢٣ (برو، ن) اليود١٢٣ وتفاعل تيلوريوم١٢٢ (ديترون، ن) اليود١٢٣، أولى هذه الميزات انه يمكن تثرية التيلوريوم١٢٤ بنسبة كبيرة وبتكاليف معقولة عن تلك المستخدمة في تثرية النظائر الأخرى لهدف التيلوريوم، حيث أن التكاليف الحالية لتثرية التيلوريوم١٢٤ بنسبة ٩٢٪ تقدر بـ ١٫٤٥ دولار لكل مجم. ثاني هذه الميزات أن طاقة البروتونات المستخدمة في قذف هدف التيلوريوم والتي هي في حدود ٢٤ مليون الكترون فولت، هذه الطاقة تفوق طاقة كل من الديترونات (٩ مليون الكترون فولت) أو البروتونات (١٦ مليون الكترون فولت) المستخدمة في التفاعلات النووية الأخرى ومن ثم فان الطاقة الانتاجية لمحصول اليود المشع١٢٣سوف تكون أكبر. وعيب هذه الطريقة أن التفاعلات النووية التنافسية (برو، ن) المستخدمة في قذف هدف التيلوريوم١٢٤ سوف ينتج عنها شوائب نووية من اليود المشع١٢٤.

ويستخدم هذا التفاعل النووي في كل من المركز النووي في نيوانجلاند New England Nuclear Corp. مركز سيناي الطبي بميامي Miami, Fla. Mt. Sinai Medical Center لانتاج اليود المشع١٢٣ بواسطة المعجل المندمج compact. وكانت نسبة الشوائب النووية من اليود المشع والتي ذكرها المركز النووي بنيوانجلاند New England كما يلي :

اليود١٢٤ (أقل من ٢٫٥٪)، واليود١٢٥ (أقل من ٠٫٠٥٪).
اليود١٢٦ (أقل من ٠٫٠٥٪)، واليود١٣١ (أقل من ٠٫٠١٪).

بعض التفاعلات النووية المباشرة الأخرى:

جرت محاولات لانتاج اليود المشع^{١٢٣} بالطريقة المباشرة بواسطة بعض التفاعلات النووية الأخرى ولكن للأسف لم تكن ناجحة في انتاج كميات كافية من اليود المشع^{١٢٣} للأغراض الطبية. وتم بحث التفاعل النووي انتيمون^{١٢١} (هي^{٣} ، ن) اليود^{١٢٣} رغم انخفاض القيمة النظرية للمقطع العرضي للتفاعل cross section اذا ما أخذ في الاعتبار مشكلة حاجز كولمب للطاقة. وترجع أهمية دراسة هذا التفاعل رغم انخفاض قيمة احتمال هذا التفاعل الى الأسباب التالية:

(١) يمكن الحصول على هدف الانتيمون^{١٢١} بدرجة عالية من النقاوة.

(٢) الطاقة اللازمة لإتمام هذا التفاعل ميسورة ويمكن توفرها في المعجل المندمج compact.

(٣) ليست هناك شوائب نووية من اليود المشع^{١٢٤} ناتجة من التفاعل النووي المستخدم فيه جسيمات هي^{٣} في قذف التيلوريوم^{١٢١}.

ومع ذلك فان محصول اليود المشع^{١٢٣} الناتج من هذا التفاعل يكون منخفضاً جداً (٨ر٠ -٠٠ر١) × ١٠$^{-٤}$ ملليكوري/ ميكروأمبير/ ساعة، ويعتبر هذا التفاعل غير عملي من وجهة نظر قلة امكانية انتاج كميات معقولة من مصدر اليود المشع^{١٢٣} لاستخدامها في الأغراض الطبية. ويمكن الحصول على نظير اليود المشع^{١٢٣} عن طريق استخدام جسيمات هي^{٣} ، هي^{٤} في تشعيع أهداف كل من التيلوريوم^{١٢٢} ، التيلوريوم^{١٢٣} بواسطة التفاعلات النووية (هي ، برو + س* ن) وعلى كل فان هذه التفاعلات قد لوحظت أثناء المحاولات الجارية لانتاج الزينون^{١٢٣}.

التفاعلات النووية الغير مباشرة لانتاج اليود^{١٢٣}:

تعتمد الطريقة الغير مباشرة المتبعة في انتاج اليود المشع^{١٢٣} على التحلل

ملحوظة: س = عدد غير معلوم من النيوترونات.

الاشعاعي للمركب المكوّن له precursor وهو الزينون١٢٣ . وتمتاز هذه الطريقة في الانتاج عن طرق الانتاج المباشرة بميزة اساسية وهي استبعاد شوائب اليود المشع المصاحبة لانتاج اليود١٢٣ والناشئة من التفاعلات التنافسية على مادة الهدف . ويتركب أجزاء الهدف من حجرة (خزانة القذف) تبرد بالماء وتحتوي على طبقة رقيقة من مسحوق الهدف ، ويندفع أثناء عملية التشعيع تيار متدفق من غاز الهليوم ماراً خلال ذرات مسحوق الهدف ، ويجرف أمامه ذرات الزينون المشع١٢٣ من غرفة التشعيع . ثم يمر بعد ذلك الزينون المشع خلال مصيدة يحتفظ فيها بدرجة حرارة عند - ٧٩°م (تحت الصفر) بواسطة ثاني أكسيد الكربون الصلب حيث يتم التخلص من شوائب ذرات اليود المشع التي تنتج من جراء التفاعل المباشر .

يتم بعد ذلك فصل ذرات الزينون المشع في مصيدة يحتفظ فيها بدرجة الحرارة عند - ١٩٦° م (تحت الصفر) في وجود النتروجين السائل ، ويمكن اعادة تشغيل غاز الهليوم المستخدم كحامل في هذه التفاعلات - مرة أخرى اذا ما رغب في ذلك .

وقد استخدمت أيضاً بعض الأشكال المختلفة لنظام تدفق (سريان) الغاز وتستخدم طريقة المرور الاحادي في هذا الجهاز للتشعيع السابق توضيحه ولكن دون اعادة تشغيل غاز الهليوم المتدفق مرة أخرى في دورة الانتاج .

أما الطريقة الدائرية في مرور غاز الهليوم فتعتمد على تشعيع هدف من مسحوق التيلوريوم موضوع في حجرة محكمة الاغلاق يتم بعدها تسخين الهليوم ومن ثم يدفع أمامه نظير الزينون المشع١٢٣ وكذلك الشوائب الأخرى من اليود المشع يستخدم بعد ذلك نظام للمصيدة (للاحتجاز) مشابه لما ذكر سابقاً من أجل تنقية وفصل نظير الزينون١٢٣ . وتسمح هذه الطريقة الدائرية في الانتاج بالقذف بالجسيمات لفترة زمنية قصيرة فقط في حدود ٢ ساعة طالما أن نواتج التحلل الاشعاعي للزينون١٢٣ لم تتم ازالتها أولا بأول .

واستخدمت أنواع مختلفة من نظم القنص (الصيد) والتي يمر عليها تيار متدفق من غاز الهليوم حاملا الغازات النشطة اشعاعياً والتي تمر خلال فرن احتراق من معدن الكوارتز يحتوي على سلك من الفضة يسخن حتى درجة حرارة من ٢٨٠ ـ ٣٢٠°م. هذا الغسيل الكيماوي يمكن من ازالة شوائب اليود المشع الناتجة من التفاعل في صورة يوديد الفضة.

ويعتبر فصل الزينون من الأهداف التي تم تشعيعها عملا مناسباً من أجل انتاج نظير اليود١٢٣ في صورة نقية وذلك للأسباب التالية:

١ ـ يمكن فصل الزينون طبيعياً من العناصر الأخرى.

٢ ـ نظائر الزينون١٢٤، الزينون١٢٦، الزينون١٢٨، الزينون١٢٨، الزينون١٣٠، الزينون١٣١، الزينون١٣٢، والزينون١٣٤ نظائر مستقرة (ثابتة).

٣ ـ ينحل اشعاعياً كل من نظيري الزينون١٢٧ (عمر النصف ٣٦٫٤ يوم) والزينون١٣٣ (عمر النصف ٥٫٣ يوم) الى أحفاد مستقرة (ثابتة).

٤ ـ نظائر الزينون المشعة والتي وزنها الذري (رقم الكتلة) أقل من ـ ١٢٢ نجد أن فترة عمر النصف للانحلال الاشعاعي لها ⩽ ٤١ دقيقة. وهذه بدورها تنحل الى أحفاد من اليود المشع ذات فترة عمر النصف قصير أيضاً ⩽ ٢ ساعة.

٥ ـ الزينون١٢٢ (فترة عمر النصف له ١٩ ساعة) ينحل اشعاعياً الى اليود١٢٢ (فترة عمر النصف له ٥٫٣ دقيقة).

٦ ـ معظم الشوائب من اليود المشع المصاحبة للتفاعل المذكور مصدرها اليود١٢٥ (فترة عمر النصف له ٦٠ يوماً) والذي ينتج من الانحلال الاشعاعي لنظير الزينون١٢٥ (عمر النصف له ١٧ ساعة). ويترك مخلوط

الزينون المشع لكي ينحل اشعاعياً لفترة زمنية قدرها من ٢ ـ ٥ ساعة يمنع نمو growth معظم الكمية الموجودة من اليود ١٢٥ . ومن المعروف أن شوائب اليود المشع ١٢٥ ينحل اشعاعياً بواسطة أسر الكترون electron capture ثم اطلاق اشعاعات جاما بطاقة ٣٥ كيلو الكترون فولت .

وتتميز طريقة سريان (تدفق) الغاز عن طريقة الفصل الكيماوية التقليدية للأهداف المشعة وذلك للأسباب الاضافية التالية :

١ ـ انحلال الزينون ١٢٣ من نوع أحادي الذرة monoatomic حيث ينحل اشعاعياً الى اليود المشع ١٢٣ . والذي يعتبر نشطاً كيماوياً ، مما يوفر الظروف الملائمة لعملية الترقيم labelling المباشر لبعض المركبات العضوية الخاصة .

٢ ـ يمكن الاستفادة من الوقت المخصص لايقاف عملية نمو نظير اليود ١٢٣ في نقل النظير المنتج الى قسم الطب النووي الذي سيستخدم النظير .

٣ ـ ليست هناك حاجة لعملية استعادة recovered الهدف الذي استخدم في التشعيع مرة أخرى .

٤ ـ تحضير المواد الدوائية المرقمة بنظير اليود ١٢٣ عن طريق الغسيل البسيط للمصيدة سيؤدي الى استبعاد عملية تقطير اليود القياسي .

٥ ـ استخدام طريقة سريان الغاز سيجنبنا مشكلة التعامل اليدوي مع المواد المشعة الأخرى خلاف اليود ١٢٣ (الشوائب) والتي يمكن مواجهتها بواسطة استخدام أهداف تشعيع قياسية في عملية القذف .

هذه التفاعلات مدونة في الجدول التالي :

الجدول يوضح التفاعلات النووية
لانتاج اليود المشع١٢٣ من الزينون١٢٣

التفاعل النووي	الطاقة (م . إ . ف)	تثرية الهدف ٪	المنتوج ميكروكوري/ ميكروأمبير/ساعة
تيلوريوم١٢٢ (هي٤ ،٣ ن) زينون١٢٣	- ر٤٢	٩٦	٣٠ - ٨٠*
	- ر٤٦	≥٩٥	٤٠ - ٢٠٠*
تيلوريوم١٢٢ (هي٣ ،٢ ن) زينون١٢٣	٢١ - ٣٠	٩٣ر٩٠	٧٠ - ٣٠٠(×)
تيلوريوم١٢٣ (هي٣ ،٣ ن) زينون١٢٣	- ر٣٠	٥ر٧٦	٧٥٠(×)
يود١٢٧ (برو ، ٥ ن) زينون١٢٣	٥ر٥٧	- ر١٠٠	٤ × ١٠٣*

(★) المحصول الحقيقي من اليود١٢٣ المفصول من الهدف المشع باستخدام طريقة سريان الغاز .

(×) الكمية الكلية من اليود١٢٣ الناتج من تحلل الزينون١٢٣ ، مع العلم أن الزينون١٢٣ لم تتم ازالته من الهدف المشعع .

تفاعل التيلوريوم١٢٣ (هي٤ ، ٣ ن) زينون١٢٣ :

يستخدم هذا التفاعل روتينياً في انتاج كميات من اليود المشع١٢٣ على درجة عالية من النقاوة تستخدم في الأغراض الطبية ، ويتبع في طريقة الانتاج طريقة سريان الغاز على الهدف ، حيث كانت كمية المحصول الناتج في حدود من ٢ - ٤ ملليكوري/ساعة من اليود المشع١٢٣ ، وكانت نسبة الشوائب من نظير اليود١٢٥ أقل من ٤ر٠٪ . وتراوحت طاقة جسيمات الفا (هي٤) المستخدمة في القذف ما بين ٤٢ - ٤٦ مليون الكترون فولت . أما نسبة شوائب اليود١٢٤

فكانت منخفضة جداً حيث كانت قيمتها ۰۰۱ر۰٪ ، بينما كانت نسبة شوائب نظير اليود١٢٦ لا تذكر.

ويلاحظ في هذه الطريقة أن مسحوق التيلوريوم١٢٢ قد تغيرت طبيعة تركيبه البللوري خلال التشعيع الى الصورة المتزاحمة الذرات. وقد وجد أن الاستخدام الطويل الأمد للهدف المذكور ينتج عنه انخفاض في معدلات الانتاج والذي يُعزى الى تغيرات في البناء البلوري للتيلوريوم.

وقد قدر أن بإمكان هذه الطريقة انتاج من ١٠ ـ ٣٠ ملليكوري/ ساعة من اليود المشع١٢٣ ذات الدرجة العالية من النقاوة وذلك عند تشعيع أهداف مثراة من التيلوريوم١٢٢ بنسبة ٩٥٪ وباستخدام تيار من الأشعة ٥٠ ميكروأمبير بطاقة جسيمات ألفا (هي٤) تتراوح من ٤٢ ـ ٤٦ مليون الكترون فولت.

تفاعل تيلوريوم١٢٢ (هي٣ ، ٢ ن) زينون١٢٣ :

درس هذا التفاعل بواسطة عديد من الباحثين. ويمتاز هذا التفاعل عن تفاعل تيلوريوم١٢٢ (هي٤ ، ٣ ن) زينون١٢٣ ذلك انه يمكن أن يجري هذا التفاعل في معجل الطب الحيوي المندمج بينما لا يستطيع المعجل المندمج compact أن يعجل من طاقة جسيمات هي٤ الى ٣٥ ـ ٤٠ مليون الكترون فولت وهي الطاقة اللازمة لاتمام تفاعل (هي٤ . ٣ ن) على هدف التيلوريوم١٢٢ .

وعلى أية حال فان عيب هذه الطريقة يكمن في أن حاجز كولمب للطاقة الخاص بهذا التفاعل تيلوريوم١٢٢ (هي٣ ، ٢ ن) زينون١٢٣ عند مستوى ١٦ مليون الكترون فولت تكون قيمته أعلى من القيمة النظرية للطاقة (١٤ مليون الكترون فولت) والتي عندها تكون درجة احتمال حدوث التفاعل أعظم ما يمكن. ومن ثم فانه من المتوقع أن تكون كمية المحصول من الزينون١٢٣ قليلة.

تفاعل تيلوريوم١٢٣ (هي٣ ، ٣ ن) زينون١٢٣ :

يمتاز هذا التفاعل عن تفاعلي كل من التيلوريوم١٢٢ (هي٤ ، ٣ ن) زينون١٢٣ ، وتفاعل تيلوريوم١٢٢ (هي٣ ، ٢ ن) زينون١٢٣ بالمميزات التالية :

١ - تعتبر مستوى طاقة جسيمات هي٣ (٢٥ مليون الكترون فولت) واللازم - لإتمام هذا التفاعل - أقل من مستوى طاقة جسيمات هي٤ (٤٢ مليون الكترون فولت) اللازم لإتمام تفاعل التيلوريوم١٢٢ (هي٤ ، ٣ ن) زينون١٢٣ . فنجد أن مستوى طاقة جسيمات التفاعل الأول يكون ضمن امكانيات الطاقة لأنواع السيكلوترونات المندمجة بينما لا تفي تلك الامكانيات بحاجة التفاعل الثاني من الطاقة .

٢ - تفاعل كل من هي٣ مع التيلوريوم١٢٣ ، هي٤ مع التيلوريوم١٢٢ . سوف يؤدي الى تكوين نواة نفس المركب من نظير الزينون١٢٦ ومن ثم سوف نحصل على ناتج متماثل من هذا النظير .

٣ - لا توجد مشكلة تداخل حاجز كولمب للطاقة بالنسبة لتفاعل التيلوريوم١٢٢ (هي٣ ، ٢ ن) زينون١٢٣ .

٤ - لما كانت جسيمات هي٣ المستخدمة في قذف التيلوريوم١٢٣ تحتاج الى مستويات من الطاقة أعلا من تلك التي تحتاجها عند استخدامها في قذف هدف من التيلوريوم١٢٢ ، لذا يصبح بالامكان استخدام أهداف للتشعيع أكبر سمكاً .

وفيما يتعلق بعيوب التفاعلات النووية التي تستخدم فيها أهداف من التيلوريوم١٢٣ عن تلك المستخدم فيها أهداف من التيلوريوم١٢٢ فيمكن ذكرها فيما يلي :

١ - تكاليف أهداف التيلوريوم١٢٣ حالياً ضعف تكاليف التيلوريوم١٢٢ .

٢ ـ امكانية التثرية النظائرية للتيلوريوم١٢٢ أعظم من تلك الخاصة بالتيلوريوم١٢٣ . ولقد وجد أن هذا التفاعل يتفوق عن كل من تفاعل تيلوريوم١٢٢ (هي٤ ، ٣ ن) زينون١٢٣ وتفاعل تيلوريوم١٢٢ (هي٣ ، ٢ ن) زينون١٢٣ السابق ذكرهما . وباستخدام قذائف من جسيمات هي٣ ذات طاقة ٣٠ مليون الكترون فولت في إحداث التفاعل النووي تيلوريوم١٢٣ (هي٣ ، ٣ ن) زينون١٢٣ كانت كمية محصول نظير اليود١٢٣ والناتجة من التحلل الاشعاعي لنظير الزينون١٢٣ الناتج من التفاعل المذكور ـ مقدارها ٨ر٠ ملليكوري/ميكروأمبير/ساعة . كما يلاحظ أن استخدام نظام سريان الغاز في فصل نظير الزينون١٢٣ سوف ينتج عنه نقص حقيقي في المحصول الناتج من هذا التفاعل .

تفاعل يود١٢٧ (برو ، ٥ ن)

يمتاز هذا التفاعل عن التفاعلات السابقة المستخدمة في انتاج اليود١٢٣ بطريقة الانتاج غير المباشر . أولى هذه المميزات أن الطاقة النموذجية للبروتونات المعجلة المستخدمة في هذا التفاعل لانتاج نظير الزينون١٢٣ من أهداف ذات سمك كبير ـ هذه القذائف تحتاج الى طاقة أكبر من ٥٤ مليون الكترون فولت وسوف يمكن بهذا المدى الكبير من مستوى الطاقة (٥٤ مليون الكترون فولت) ـ والذي يفوق بكثير المستويات الأخرى من الطاقة للقذائف المستخدمة في التفاعلات النووية السابق ذكرها (طاقة هي٣ = ٣٠ مليون الكترون فولت ، طاقة هي٤ = ٤٠ مليون الكترون فولت) من استخدام أهداف للتشعيع أكبر سمكاً .ثاني هذه المميزات أن هدف اليود١٢٧ المستخدم في هذا التفاعل ـ ذو نسبة الوفرة في الطبيعة ١٠٠٪ ـ يعتبر غير مكلف اقتصادياً اذا ما قورن بأهداف نظائر التيلوريوم المثراة نظائرياً والتي تصل قيمة تكاليفها الى ٥٠ر١٣ دولار لكل مجم . وينحصر عيب هذه الطريقة في قلة عدد

المعجلات التي يمكنها بتعجيل البروتونات بهذا المستوى العالي من الطاقة ≤ ٥٠ مليون الكترون فولت .

ولقد وجد أن كمية محصول هذا التفاعل يعادل ٤ ملليكوري/ ميكروأمبير/ ساعة . وكان مصدر الشوائب الوحيد هو نظير اليود١٢٥ حيث كانت نسبة ١ر٠٪ . من كمية النشاط الاشعاعي لنظير اليود١٢٣ . أما في معجل بروك هافن الخطي لبرنامج انتاج النظائر Brookhaven Linear Isotope Program فقد أمكن التحصل على ٥ر٢ كوري/ساعة من نظير اليود١٢٣ على درجة عالية من النقاوة عن طريق تشعيع أهداف من يوديد البوتاسيوم باستخدام قذائف من أشعة البروتونات (٥٠ ـ ٧٠ مليون الكترون فولت) بشدة تيار لحزمة الأشعة قدره ٢٠٠ ميكروأمبير .

وعلى ذلك يتضح أن اختيار أنسب تفاعل نووي سوف يعتمد بالدرجة الأولى على خصائص المعجل الموجود .

الكريبتون m٨١* :

يستحوذ نظير الكريبتون m٨١ على اهتمام خاص . وهو يستخلص من النظير المولد روبيديوم٨١ بعد فترة تحلل اشعاعي قدرها ٦ر٤ ساعة .

وقد اقترحت عدة تفاعلات نووية مختلفة لانتاج الكريبتون m٨١ وهي :

١ ـ كريبتون٨٠ (هي٣ ، برو+ ن) روبيديوم٨١ (٦ر٤ ساعة) كريبتون٨١ (١٣ ثانية) .

٢ ـ كريبتون٨٠ (د ، ن) روبيديوم٨١ .

٣ ـ كريبتون٨٢ (برو ، ٢ ن) روبيديوم٨١ . (طاقة البروتونات = ٢١ مليون الكترون فولت) .

---

*m = meta stable (نظير شبه مستقر)

ويمثل نظير كريبتون٨٢ نسبة ٩ر١١٪ من الكريبتون الطبيعي. ويتكون الهدف المشع من حجرة صغيرة تملأ بالكريبتون الطبيعي تحت ضغط عال.

يستخلص بعد ذلك نظير الروبيديوم٨١ بواسطة الغسيل بماء مقطر ويمرر المحلول بعد ذلك على عمود جاف من مادة الراتنج للتبادل الأيوني من نوع كويكس ٥٠ × ٨ (أقطار حبيبات ٢٠٠ - ٤٠٠ mesh أي ثقب في البوصة المربعة) أو باستخدام مركب آخر من الراتنج من نوع Biorad AG-MP-50 (أقطار حبيبات ٥٠ - ١٠٠ mesh)، فيتم امتصاص نظير الروبيديوم٨١ على عمود التبادل هذا، ثم يستخلص منه بعد ذلك نظير الكربتون٨١ باستخدام تيار من الهواء أو باستخدام محلول ايزوتوني isotonic **(متساوي التوتر)**.

ان عامل التكلفة الاقتصادية ليس وحده هو المهم في اختيار نوع التفاعل النووي - الملائم لانتاج نظير الكريبتون m٨١ (هدف غاز الكريبتون٨٠ المُثرى غالي الثمن) بل يجب أيضاً الأخذ في الاعتبار عامل التقليل من الشوائب النووية الى أقل قدر ممكن عند اختيار التفاعل النووي المناسب (مثال على الشوائب النووية في هذا المجال هو الروبيديوم٨٢ س. م)

الأنديوم١١١ :

يشبه الأنديوم١١١ نظير التكنيسيوم m٩٩ من حيث انه يلائم الاستخدام في عملية الترقيم الكيماوي لعديد من المركبات العضوية مثل DTPA, HSA, transferrin. والصورة الثلاثية التكافؤ من عنصر الأنديوم هي السائدة في تفاعلات كيمياء الأنديوم وهي في هذا المجال تشبه كيمياء أيون الحديديك.

ونظير الانديوم m١١٣ يمكن التحصل عليه بالاستخلاص من النظير المولد Sn-133 (القصدير١٣٣) بينما يعتبر نظير الأنديوم١١١ ناتج من تفاعلات السيكلوترون بواسطة التفاعل النووي التالي:

كادميوم^{١١٢} (برو ، ن) انديوم^{١١١} وكانت طاقة أشعة البروتونات المستخدمة في القذف ٢٧ مليون الكترون فولت وأمكن التحصل على محصول ممتاز من الأنديوم^{١١١} قدره ٦ ملليكوري/ميكروأمبير/ساعة .

الثاليوم^{٢٠١} :

يعتبر هذا النظير ذا أهمية خاصة في بحوث أمراض القلب ، ويمكن أن يتم تحضيره من التفاعل النووي التالي :

ثاليوم^{٢٠٣} (برو،٣ ن) رصاص^{٢٠١} ⟵ ثاليوم^{٢٠١} (٢٥ - ٤٥ مليون الكترون فولت) .

الفصل الكيميائي الاشعاعي في وجود عنصر حامل من الرصاص المستقر (الغير مشع) :

يتم فصل النظائر المشعة من الرصاص (رصاص^{٢٠١} ، رصاص^{m٢٠٢} ، رصاص^{٢٠٣} ، رصاص^{m٢٠٤}) من محلول الثاليوم المشع ، المذاب في حامض النيتريك (يد ن أ$_{٣}$) وذلك باضافة ٢٠ مجم من ذرات الرصاص الحاملة (ر + +) ثم يرسب الرصاص على صورة كبريتات الرصاص (ر كب أ$_{٤}$) .

وكانت كمية المحصول الناتجة أكثر من ٩٨٪ . وأمكن إزالة التلوث بذرات الثاليوم^{٢٠٣} . وبعد فترة تحلل اشعاعي قدره ٣٢ يوم يجري فصل الحفيد من نظير الثاليوم^{٢٠١} في صورة ذرات كلها مشعة carrier free أي خالية من الحامل .

ولقد لوحظ انه بالرغم من أن كمية المحصول من نظير الثاليوم^{٢٠١} والمفصولة في صورة ذرات كلها مشعة أي carrier free - من نظير الرصاص (المركب السالف للثاليوم^{٢٠١}) كانت كبيرة ، ومع ذلك فان التخلص الكامل من الشوائب المشعة وغير المشعة من نظير الرصاص - لم يكن مرضياً وكافياً . هذا

بالاضافة الى انه لو كان المطلوب أيضاً فصل نظير الرصاص٢٠٣ فانه لم يكن في صورة carrier free (أي ذرات كلها مشعة). ومن ثم أصبحت الحاجة ضرورية لتطوير طريقة جديدة للحصول على نظائر كل من الرصاص المشع والثاليوم المشع في صورة carrier free.

الرسم التوضيحي للفصل المذكور فيما بعد يتضمن ترسيب النظائر المشعة للرصاص الموجودة في صورة carrier free باستخدام ايدروكسيد الحديديك، ثم تجري ازالة ذرات الحديد الحاملة carrier من محلول ذرات الرصاص الموجودة في صورة carrier free (أي أن الذرات كلها مشعة) وبعد فترة تحلل اشعاعي قدرها ٣٢ ساعة يجري بعد ذلك فصل كل من نظيري الثاليوم المشع والرصاص المشع كل على حدة.

تجري ازالة الرقاقة المعدنية من الثاليوم التي تم تشعيعها (٣٥ر٠ جرام) من حامل الالومنيوم ثم تذاب في ٢٠ سم^{٣} من محلول حامض نيتريك (يد ن أ$_{٣}$) قوة ٦ عياري. يضاف بعد ذلك ٥٠ مجم من محلول حامل carrier للحديديك (ح$^{+٣}$).

ثم تجري عملية التعادل للمحلول باستخدام محلول قلوي من ايدروكسيد الامونيوم فيترسب ايدروكسيد الحديديك ح (أ يد)$_{٣}$. وبعد اجراء الترشيح، يذاب راسب ح (أ يد)$_{٣}$ في محلول ٦ عياري من حامض النيتريك ثم يعاد ترسيبه مرة ثانية على صورة ح (أ يد)$_{٣}$. اجراء الترسيب لراسب ح (أ يد)$_{٣}$ للمرة الثالثة يمكن من ازالة نظير الثاليوم كلية. نظائر الرصاص المشع في الصورة carrier free يتم التخلص منها كمياً تقريباً بواسطة راسب ح (أ يد)$_{٣}$. يتابع بعد ذلك اذابة الراسب مرة أخرى في أقل كمية من حامض يد كل (٦ عياري). وينقل المخلوط بعد ذلك الى عمود الراتنج للتبادل الانيوني من نوع الدويكس ١ × ٨ (٢٠٠ - ٤٠٠ mesh). نظائر الرصاص المشعة تمرّ خلال

عمود التبادل ويجمع المحلول الراشح ، بينما يتبقى على الأسطح التبادلية للعمود أيونات الحديديك (ح$^{+٣}$) الغير مشعة (المستقرة) . يؤخذ بعد ذلك المحلول الراشح (المزاح) ويعامل من أجل فصل النظائر المشعة لكل من الثاليوم والرصاص . وبعد الانتظار فترة ٣٢ ساعة من أجل التحلل الاشعاعي يكون خلالها منحنى النمو لنظير الثاليوم^{٢٠١} قد وصل الى النمو النموذجي (optimum) . يسخن بعد ذلك المحلول الراشح (المزاح) مع اضافة ٤ سم^{٣} من محلول ١٠٪ من الهيدرازين هيدروكلوريد وذلك لاختزال الثاليوم من الصورة الثلاثية التكافؤ الى الصورة الآحادية التكافؤ . يجري بعد ذلك ضبط تركيز حامض يد كل الى قوة ٣ مولر جزئي ثم ينقل المخلوط بعد ذلك الى عمود آخر من الراتنج للتبادل الأنيوني من نوع دويكس ١ × ١٠ (٢٠٠ - ٤٠٠ mesh) . يزاح أولا الثاليوم يليه بعد ذلك الرصاص . يجمع الجزء من المحلول الخاص بكل من الثاليوم والرصاص ويبخر كل منهما حتى الجفاف . ويوضع كل منهما في الوسط الملائم لـه . ويستخدم محلول ايزوتوني (متساوي التوتر) لنظير الثاليوم .

طريقة فصل كل من نظيري الرصاص^{٢٠٣} والثاليوم^{٢٠١} في صورة carrier-free (ذرات كلها مشعة)

اذابة الثاليوم المشع في محلول(٦ مولر)من حامض النيتريك .
اضافة حامل (Carrier) من ذرات الحديديك ح$^{+٣}$

الثاليوم ←

الترسيب باستخدام قلوي من (ن يد ٤) أ يد

الثاليوم ←

اذابة راسب ايدروكسيد الحديديك ح (أ يد)$_{٣}$ والذي يحمل معه نظائر الرصاص المشعة وذلك في حامض يد ن أ$_{٣}$ قوة ٦ مولر، يعاد الترسيب في صورة ح (أ يد)$_{٣}$.

الثاليوم ←

اذابة راسب ايدروكسيد الحديديك ح (أ يد)$_{٣}$ في حامض يد ن أ$_{٣}$ في حامض يد ن أ$_{٣}$ (٦ مولر) يعاد الترسيب على صورة ح (أ يد)$_{٣}$.

اذابة راسب ح (أ يد)$_{٣}$ في حامض يد كل (٦ مولر)

ح ←

دويكس ١ × ٨
ازاحة باستخدام حامض يد كل (٦ مولر)

تترك نظائر الرصاص المشعة للتحلل الاشعاعي لمدة ٣٠ ساعة. ثم يجري اختزال الثاليوم الثلاثي التكافؤ إلى الثاليوم الاحادي التكافؤ بواسطة الهيدرازين.

رصاص ^{٢٠٣} ←
(Carrier free)

دويكس ١ × ١٠
ازاحة باستخدام حامض يد كل (٣ مولر)

↓

ثاليوم ^{٢٠١}

(Carrier free)

٣ - ٣ - ٣ المصادر الاشعاعية :

تستخدم المصادر الاشعاعية المغلفة sealed في التطبيقات المختلفة حيث أن الاشعاع الصادر منها يكون له الأهمية الأولى ، أكثر من نوع أو محتوى تلك المصادر نفسها من المادة المشعة . وتختلف المصادر الاشعاعية من حيث الحجم والنوع والقوة الاشعاعية . تتوقف درجة الصعوبة في الحصول على تغليف محكم وفعال لهذه المصادر على عدة عوامل منها : نوع الاشعاع ، والطبيعة الكيماوية للمادة المشعة التي يتكون منها المصدر ، وطبيعة وشكل الاناء الحاوي للمادة المشعة .

والطرق الشائعة المتبعة في تغليف المصادر الاشعاعية بأحكام هي :

- اتحاد المادة المشعة مع مادة معدنية .

- تكوين معقدات ثابتة مثل السبائك أو المركبات الخزفية والتي ترتبط فيها بأحكام المادة المشعة للمصدر .

- تغليف المادة المشعة للمصدر بواحد أو أكثر من الاناء الحاوي لتقليل خطر التسرب الاشعاعي في حالة حدوث أي تلف أو كسر فجائي .

وتتباين بدرجة كبيرة تكاليف المستلزمات والامكانيات اللازمة لانتاج المصادر الاشعاعية المغلقة sealed وتعتمد في ذلك على كمية النشاط الاشعاعي للمصدر ونوع النظير المشع المستخدم. ويعكس ثمن تلك المستلزمات والمعدات معظم قيمة المصروفات الاستثمارية الهامة في هذا المجال، ولقد تطور انتاج المصادر الاشعاعية المغلقة في المراكز النووية الكبرى تطوراً كبيراً.

وتقسم المصادر الاشعاعية المغلقة كما يلي:

١ ـ مصادر إشعاع ألفا:

وتشمل مصادر مرجعية ومصادر قياسية لمعايرة العد الاشعاعي وبسبب السمية الاشعاعية العالية للمصادر الاشعاعية التي تنبعث منها جسيمات ألفا ذات فترة نصف العمر الطويل، فانه يلزم توفر امكانيات ومستلزمات ووسائل تعامل خاصة تكون مزودة بأنظمة كافية في التهوية والتنقية الهوائية وكذلك وسائل خاصة في التخلص من النفايات النووية، وذلك عند إنتاج مصادر مشعة باعثة لجسيمات ألفا. ولتلافي انتشار التلوث بمصادر ألفا يجب أن تكون تلك المصادر مثبتة باحكام مع مادة صلبة بطريقة ما من شأنها منع انتشار التلوث.

ويمكن وضع مصادر ألفا هذه داخل حبيبات أو كريات صغيرة من الزجاج (كريات زجاجية ـ مرشحات).

٢ ـ مصادر اشعاع بيتا:

نظراً لأن مجال نفاذية جسيمات بيتا في المادة يعتبر محدوداً اذا ما قورن بأشعة جاما، فان حجم المصدر المشع وكمية الاشعاع الناتجة سوف تكون محدودة بفعل عامل الامتصاص الذاتي self-absorption (يستخدم نافذة رقيقة السمك). ويمكن أن تكون مصادر اشعاع بيتا في صورة رقائق معدنية، مصادر خزفية ومصادر غازية.

٣ ـ مصادر أشعة جاما :

بالنسبة لمصادر أشعة جاما فان الامتصاص الذاتي لا يمثل مشكلة كبيرة اذا ما قورن ذلك بمصادر أشعة ألفا ومصادر أشعة بيتا وذلك نظراً لقوة نفاذية أشعة جاما في المادة . في مصادر جاما يمكن أن تكون كمية المادة المشعة كبيرة جداً فقد تصل في بعض الحالات الى عدة آلاف من الكوري ويصل الوزن الى عدة جرامات . وعملية التغليف sealing لمصادر أشعة جاما تمتاز بأنها تكون على درجة عالية من السلامة والأمان حيث يمكن بفضل قوة نفاذية أشعة جاما الكبيرة أن نستخدم غلافاً خارجياً من الفولاذ مزدوج الجدران وملحوماً جيداً . وفيما يتعلق بالصورة الكيماوية التي يجب أن تكون عليها المادة المشعة المستخدمة في المصدر فيجب أن تكون خاملة كيماوياً وأن تكون كتلة صلبة وليست في صورة مسحوق ناعم .

المصدر الاشعاعي ، اريديوم١٩٢ اذا ما كان المطلوب أن يكون شكله على هيئة سلك فيجب أن يعمل في سبيكة مع معدن البلاتين لكي تتحسن درجة التوصيل ، أما المصدر المشع الكوبلت٦٠ فيعمل في سبيكة مع معدن النيكل من أجل التقليل من درجة ميله الى التأكسد .

أما اذا لم توجد مادة سهلة ومناسبة لعمل سبيكة مع المصدر المشع (كما في حالة مصدر السيزيوم١٣٧) فيجب أن يوضع داخل غلاف من الزجاج أو الخزف .

هناك بعض الشروط التي يجب توفرها في مصادر أشعة جاما ، فطول فترة عمر النصف للمصدر من الأمور المرغوبة عادة في المصدر المشع . وقد يكون من المطلوب أيضاً كبر قيمة النشاط الاشعاعي النوعي specific activity للمصدر من أجل التقليل من حجم الجزء الفعال (النشط اشعاعياً) لكي نحسن من تحديد معالم ووضوح صور أشعة جاما ، مدى مطابقة أنظمة القياس

والمعايرة، أو لانقاص ظل الصورة في حالة العلاج بالكوبالت.

وفي تحليلات التفلور لأشعة اكس المثارة بواسطة أشعة جاما فانه تحضر مصادر صغيرة ينبعث منها أشعة جاما ضعيفة (كما هو الحال في مصادر الأمريسيوم٢٤١ ، الكادميوم١٠٩ ، الجادولينيوم١٥٨). ولما كانت قوة النفاذية خلال المادة بواسطة مصادر جاما الضعيفة تعتبر محدودة مما يجعل لمادة الالومنيوم الأفضلية الخاصة في تغليف تلك المصادر وذلك بالرغم من ضعف خواص اللحام لمادة الالومنيوم وفي عدد من التطبيقات العملية للأشعاع بواسطة مصدر اشعاعي من هذا النوع قد يتطلب الأمر اجراء التشعيعفي اتجاه واحد ويمكن أن يتم ذلك عن طريق ادخال نافذة من الالومنيوم ضمن جسم الكبسولة المغلفة والمصنوعة من مواد أخرى مختلفة وذلك عن طريق اللحام بالاحتكاك friction welding . ويمكن حل مشكلة النافذة هذه عن طريق استخدام رقاقة معدنية رفيعة من معدن النيكل أو الصلب الذي لا يصدأ. وبصفة عامة فان تحضير المصادر الاشعاعية يتطلب توفر فريق من الفنيين المتخصصين من ذوي الخبرة والمعرفة المزدوجة في مجالات الكيمياء الاشعاعية والتكنولوجيا وعلوم المعادن. بعض هذه التقنية الفنية يمكن أن تجري كعمل معملي والبعض الآخر يتطلب تواجد أجهزة علمية معقدة جداً مع طرق فنية لاجراء عمليات الربط أو الوصل من بعد (مثال ذلك جهاز الوصل أو اللحام بالأشعة الالكترونية)، وكذلك يجب توفر آلات ومعدات خاصة للتعامل مع الأواني الحاوية الثقيلة الوزن.

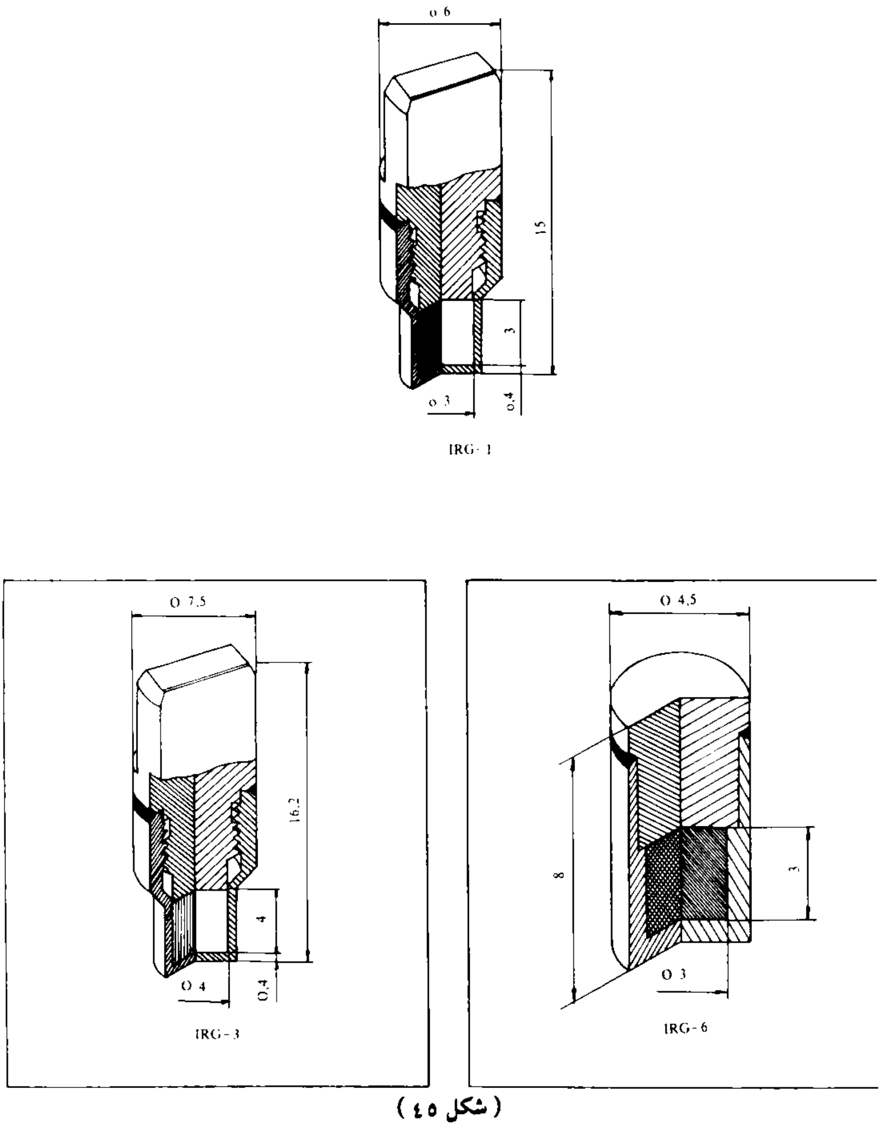
تستخدم المصادر الاشعاعية من الاريديوم١٩٢ بصفة رئيسية في عمليات التصوير بأشعة جاما. ويصنع غلاف هذا المصدر من الصلب الذي لا يصدأ من نوع (Z3 CND 18/12) ويتم لحام الغلاف باستخدام حزمة من الأشعة الالكترونية. ويحتوي الغلاف بداخله على المصدر الاشعاعي الاريديوم١٩٢

الذي يوجد على شكل اسطواني ذو أبعاد صغيرة (كما هو واضح من شكل ٤٥). وتتراوح كمية النشاط الاشعاعي العضوي ما بين ٤ كوري(في حالة الاسطوانة ذات الأبعاد : قطر = ١ مم ، ارتفاع = ٥ر٠ مم) الى ٣٠٠ كوري (في حالة الاسطواني ذات الأبعاد : قطر = ٤ مم ، ارتفاع = ٤ مم) وفيما يتعلق بالأواني الحاوية المعرضة للاشعاع containers فهناك نوعان : الأول يتكون من اناء حاوي ذو جدران واقية ويوجد بداخله مجرى خاص صغير ويمكن للمصدر الاشعاعي أن يتحرك عبر هذا المجرى الى موضع التشعيع وذلك عن طريق استخدام تقنية التحكم من بعد . وفي النوع الثاني من الاناء الحاوي فان المصدر يحتفظ به داخل الحواجز الواقية ويكون مزوداً بنظام للغلق الميكانيكي . ويمر الاشعاع من المصدر عبر فتحة أو ثقب موجود في الاناء الحاوي ذو الحواجز الواقية . ويمكن فتح وغلق هذا الثقب بواسطة الشخص الذي يشغل جهاز التشعيع (شكل ٤٦).

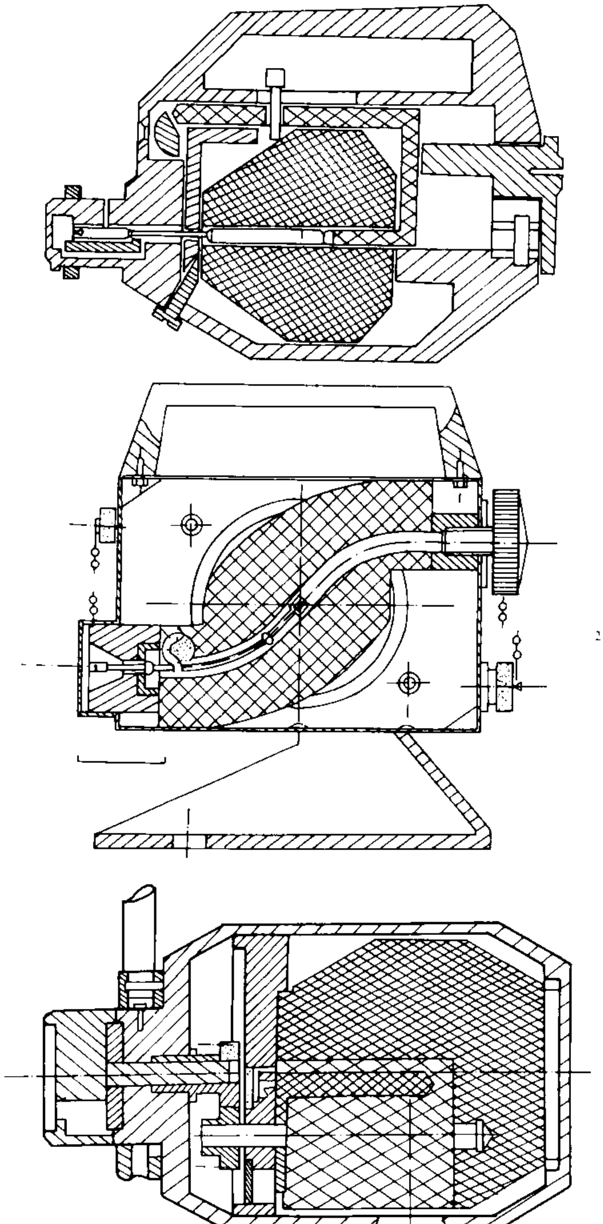
٣ ـ ٤ خدمات وتقنية عملية الترقيم :

عديد من المعامل تنتج وتبيع بصفة منتظمة أكثر من ٥٠٠ من المركبات المرقمة بنظائر الكربون١٤ والتريتيوم (يد ـ ٣). وما من شك أن عملية بدء الدراسات من أجل تحضير وانتاج تلك المركبات المرقمة تحت الظروف المحلية تعتبر أكثر تكلفة من الناحية الاقتصادية اذا ما قورن ذلك بعملية الشراء مباشرة من الخارج . يجب أن يوجه أي نشاط يتعلق بخدمات وتكنولوجيا الترقيم من أجل تحضير مركب جديد بما يتلاءم والاحتياج الخاص .

غالباً ما يقتصر الاهتمام بالمركبات المرقمة على مجال الاستخدام كمركبات اقتفائية tracers وهذا هو الاستخدام السائد لهذه المركبات نظراً للقيمة العظيمة لاستخدام المركبات الاستشفافية في مجالات البحوث البيولوجية وبصفة خاصة في مجالات الكيمياء الحيوية . ويتركز الاهتمام على استخدام بعض



(شكل ٤٥)



(شكل ٤٦)

160

العناصر في عملية الترقيم. هذه العناصر تتميز بأنها واسعة الانتشار وذات أهمية خاصة في الأنظمة الحيوية. والعناصر هي :

الكربون، الايدروجين، النتروجين، الأكسجين، الكبريت، الفوسفور واليود. ومن سوء الحظ لا توجد نظائر مشعة مفيدة لكل من الأكسجين والنتروجين ذات فترة نصف عمر طويل بدرجة تكفي لاجراء تجارب الدراسات الاستشفافية. كما ان الانخفاض النسبي لدرجة دقة قياس النظائر الثابتة للكربون والايدروجين والنتروجين والاكسجين قد يعيق انتشار الدراسات الاقتفائية التي تستخدم فيها هذه العناصر.

ليس بالضرورة أن تكون المركبات المرقمة من نوع المركبات ذات الترابط التساهمي كما انه ليس بالضرورة أن تكون مركبات عضوية ولكن النواحي التطبيقية لتلك المركبات قد تركزت على هذين النوعين من المركبات من وجهة نظر الدراسات الاقتفائية فان المركبات التي تتأين تفقد تماثلها في المحلول. ومن ثم ينظر اليها على انها أيونات مرقمة.

ان الاستخدام الواسع والنمو المتزايد في الوقت الحالي للمركبات المرقمة في التشخيص الطبي يتعلق غالباً بمكان الأعضاء وتركيبها البنائي عن طريق الامتصاص الاختياري والفحص الداخلي أكثر من كونها نوعاً متخصصاً من الدراسات الاقتفائية. وقد شملت أيضاً استخدامات المركبات المرقمة مجالات البحوث التحليلية والكيمياء العضوية ودراسات المعالجة الكيمياوية وبحوث الكيمياء الطبيعية ومثال ذلك تقديرات قيم الضغط البخاري ودرجة الذوبان للمركبات المختلفة. رغم أن معظم هذه التطبيقات لازالت مقصورة في حيز الاستخدامات في مجالات الكيمياء الحيوية الاكاديمية، فان هذه التطبيقات تميزت بالاهتمام العظيم وبعض هذه التطبيقات تبشر بتقدم كبير وملحوظ. وفي الوقت الحاضر فان الطلب الرئيسي على المركبات المرقمة يرتبط بالبحوث والدراسات على التأثيرات السمية المنتظرة عند استخدام أي دواء جديد.

- الترقيم النظائري والغير نظائري:

الترقيم النظائري يتعلق بمركب تحل فيه ذرة مشعة محل ذرة غير مشعة (ثابتة) من نفس النوع وفي نفس الموقع الذي حدث فيه الاستبدال وبدون حدوث أي تغير في الجزئين.

- الايسوميرية Isomerism :

وهي التشابه في التركيب والاختلاف في الخواص. ويعتبر موقع ذرة الكربون المشع أو التريتيوم في جزئي المركب العضوي ذات أهمية كبيرة في تتبع الانحلال البيولوجي والكيماوي.

- النشاط الاشعاعي النوعي Specific Activity :

وبصفة عامة نجد أن النشاط الاشعاعي النوعي في حالة الكربون١٤ يكون منخفضاً بينما يكون عالياً جداً مع نظير التريتيوم (يد - ٣).

وتعتبر عمليات الترقيم بالتريتيوم أوسع انتشاراً من عمليات الترقيم بالكربون١٤. وفيما يتعلق بالترقيم باستخدام الكربون١٤ فان طريقة الترقيم تبنى بصفة عامة على التخليق (الاصطناع) الكيميائي أو البيولوجي. وعندما تكون طريقة التخليق الكيميائي ممكنة وميسورة فيفضل اتباع هذه الطريقة عادة في تحضير المركب المرقم، ولكن لسوء الحظ لا يمكن في كل الأحوال الحصول على تخليق فعال للمركب المرقم بهذه الطريقة. والطرق التخليقية (الاصطناعية) في تحضير المركبات المرقمة تعطي بصفة عامة درجة عالية من التحكم والدقة فيما يتعلق بكمية منتوج المادة المرقمة وموقع الذرات المشعة في المركب المرقم ودرجة نقاوة المركب المرقم الناتج.

ان استخدام الانزيمات النقية في إتمام تفاعلات نوعية خاصة ربما يكون من

السليم ومنطقياً أن تصنف مع طرق الاصطناع الكيميائي . ولو اتجه الاهتمام نحو المفاضلة بين أفضل الطرق في عمليات الترقيم فاننا سنجد أن التخليق (الاصطناع) الكيميائي للمركبات المرقمة غالباً ما يعطى ترقيم نوعي كامل مع نظير الكربون ـ ١٤ ومع النظائر الأخرى (باستثناء حالات بسيطة) . ونظراً لتعقيد تفاعلات الكيمياء الحيوية فانه ليس من السهل التسليم بصحة العينات أو الأنظمة المرقمة بواسطة التحضيرات البيولوجية .

وفي حالة طريقة التحضير بالتخليق الكيميائي فان تكوين أشكال نقية ذات مجازءة فراغية stereoisomeric يعتبر الاستثناء وليس القاعدة ، وليس من السهل تحليل المخاليط الراسيمية racemic الى إيزوميرات isomers ضوئية نقية على نطاق ضيق بواسطة الطرق التقليدية . وبالطبع لا يوجد هذا العيب في التفاعلات الانزيمية . ان الترقيم المتماثل والذي يمتاز بارتفاع درجة النشاط الاشعاعي النوعي (وخاصة عند الترقيم بنظير الكربون١٤) ليست قاعدة ثابتة من السهل التحصل عليها بواسطة عملية التخليق ، ولكن أحياناً فقط فان بعض المركبات البسيطة نسبياً تكون مركبات وسطية متماثلة يمكن أن تجعل عملية تكوين مركبات مرقمة متماثلة أمراً ممكناً .

وتعتبر طرق التخليق (الاصطناع) الحيوي ممكنة في حالة استحالة الاعتماد على الطرق الكيميائية لتمثيل المركبات المرقمة . وتمتاز طرق التمثيل الحيوي للمركبات المرقمة عادة بالمميزات التالية :

فبوسعها أن تعطي مركبات مرقمة متماثلة (لو كان ذلك مطلوباً) ، وتعطي درجة نشاط اشعاعي نوعي عال ، وتتميز أخيراً بالتواجد الطبيعي للأشكال الراسيمية . ومن عيوب طرق التخليق (الاصطناع) الحيوية انها تعتبر في الوقت الحاضر محدودة المجال كما انها تفتقر الى عامل التحكم في منتوج التفاعل الحيوي وكذلك في موضع الترقيم على الجزئين وتعتبر غير عالية الفعالية . كما انها

بصفة عامة تحتاج الى فصل المركب الناتج من وسط مخلوط معقد جداً مما يجعل عملية التنقية صعبة بصفة خاصة، وعموماً لا تنطبق هذه العيوب عادة على التفاعلات التي تتم بواسطة الانزيمات التخصصية.

أما بالنسبة لنظير التريتيوم فان اختيار الطريقة المناسبة في عملية الترقيم يعتمد على نوع المركب وبصفة خاصة كذلك على المجموعات الفعالة الموجودة على الجزئين.

وتقع الطرق العامة المفيدة لتحضير المركبات المرقمة بنظير التريتيوم في مجموعتين رئيسيتين هما:

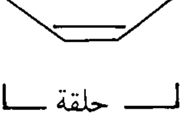
١) تفاعلات التبادل النظائري: وتتم تلك التفاعلات اما باستخدام التريتيوم في صورة غاز (عامل مساعد للتبادل الاشعاعي) أو باستخدام التريتيوم المذاب في مذيب أو باستخدام التريتيوم في صورة غاز مع الاستعانة بعامل مساعد ناقل للايدروجين.

٢) التخليق (الاصطناع) الكيميائي الذي يتضمن: عامل مساعد فلزي للهدرجة للمركبات الغير مشبعة بالتريتيوم، عامل مساعد فلزي لاتمام تفاعلات الاحلال المتماثل بين الهالوجين والتريتيوم، اختزال المركبات الوسطية بهدريدات الفلز التريتيومي (المعامل بالتريتيوم).

باستخدام مركب الفنيل ألانين كمثال فانه يمكن أن يتوقع تواجد النماذج التالية للترقيم والتي تنتج بواسطة الطرق المختلفة للترقيم بالتريتيوم:

١ ٢ ٣

ك أأ يد ـــ ك يد (ن يد٢) ـــ ك يد٢ ـــــــــــ



حلقة ـــ ـــ سلسلة جانبية ـــ

١) نوع من التبادل ينتج عنه ترقيم للجزئين في موضع الحلقة (٧٠٪ من نظير التريتيوم) وفي المواقع ٢، ٣ من السلسلة الجانبية (٣٠٪ من نظير التريتيوم). وهناك نوع من التبادل المعدل والذي أُجري على مركبات مشتقات الازلكتون azlactone يحدث فيه الترقيم في الموقع ٢ فقط على السلسلة الجانبية.

٢) يحدث التبادل في مشتق غير مشبع من المركب المذكور على الموقعين ٢، ٣ من السلسلة الجانبية معطياً مركب فنيل (٢، ٣ - تريتيوم) الانين.

٣) في المركبات الحلقية التي يوجد بها ذرات هالوجين يحدث التبادل بالتريتيوم معطياً مركباً مرقماً من الفنيل الانين التريتيومي والذي تم ترقيمه على وجه التحديد في النواة العطرية (الحلقية) في نفس المواقع التي كانت مشغولة بذرات الهالوجين.

٤) نوع من التبادل النظائري يرقم على وجه التحديد. الموقع ٣ على السلسلة الجانبية من الجزئين.

٥) نوع من التبادل يحدث بدون وجود فلز كعامل مساعد ويرقم فقط ايدروجين المركب الحلقي.

انه من الأهمية بمكان عقب اجراء الترقيم الأولي للمركب وبعد ازالة ذرات التريتيوم الحرة في المحلول أن يتم تنقية المركب التريتيومي الخام بأسرع ما يمكن. وعقب عملية التنقية يلي ذلك اجراء التحليلات الدقيقة والحساسة بالطرق المختلفة الممكنة. وهذا سوف يتضمن اجراء التحليل الكروماتوجرافي باستخدام عديد من أنظمة المذيبات العضوية (وهذه سوف تختلف فيما بينها في قدرتها على تنقية المركب) ويجب أن يكون التحليل الكروماتوجرافي مصحوباً بتحليلات تعتمد على ظاهرة التخفيف النظائري العكسي. ان الدراسات والبحوث الاقتفائية تتطلب استخدام مركبات مرقمة نقية من وجهة نظر الكيمياء الاشعاعية ومع ذلك لا يمكن التأكد من توفر درجة النقاوة المطلوبة.

وفي مجال الطب النووي فقد تطور كثيراً ترقيم المركبات باستخدام نظائر مشعة أخرى حيث أمكن انتاج مركبات مرقمة باليود المشع والفوسفور المشع والهالوجينات المشعة وكذلك بعض الفلزات المشعة الأخرى (يود^{١٣١} ، يود^{١٥٢} ، يود^{١٢٣} ، بروم^{٨٢} ، بروم^{٨٧} ، فوسفور^{٣٢} ، كبريت^{٣٥} ، تكنيسيوم^{m٩٩} ، جاليوم^{٦٧} ، زئبق^{١٩٧} ، زئبق^{٢٠٣} ....) .

وقد ذكر بالتفصيل تكوين المركب تكنيسيوم^{m٩٩} ، (الفصل ٣ ـ ٣ ـ ١) .

٣ ـ ٥ التقدير الاشعاعي للمناعة (قياس المناعة اشعاعياً) :

Radioimmunoassay

مبادىء تقدير المناعة الاشعاعية :

قام العالمان يالو وبيرسون في عام ١٩٥٩ بأول تقدير اشعاعي للمناعة للانسولين . وخلال السنوات العشر الأخيرة اتخذت هذه الطريقة لتقدير العديد من الهرمونات في السوائل الحيوية ، وفي هذا الباب سوف نناقش بعض أوجه الطرق المرتبطة بقياس الهرمونات الببتيدية عن طريق التقدير الاشعاعي للمناعة ، ويمكن تمثيل المبادىء الأساسية للتقدير الاشعاعي للمناعة في المعادلات الكيميائية الآتية :

عامل حاث مرقم	جسم مضاد نوعي	مركب عامل حاث المرقم والجسم المضاد
	$Ab + Ag^{*}$	$\rightleftharpoons Ag^{*}Ab$
	$+$ Ag	(عامل حاث أي مولد مضاد غير مرقم)
	$\upharpoonleft\downharpoonright$ $Ag\,Ab$	مركب المولد المضاد الغير مرقم والجسم المضاد

(*) ملحوظة : الـ Antigen يقصد به العامل الحاث للمناعة (أي مولد مضاء) .

لو بقيت كمية العامل الحاث (المولد المضاد) المرقم (Ag^*) وكمية الجسم المضاد النوعي (Ab) ثابتة فان زيادة كمية العامل الحاث غير المرقم (Ag) سوف تسبب منع الترابط بين العامل الحاث المرقم والجسم المضاد وهكذا يمكن عمل منحني للرجوع اليه بالكمية المعلومة من العامل الحاث غير المرقم ولتقدير المحتوى من العينات غير المعلومة باستخدام هذا المنحنى.

ولكل من العوامل الحاثة (المولدات المضادة) والأجسام المضادة خواص تمكننا من الكشف عن كميات ضئيلة منها للغاية (بيكوجرامات ونانوجرامات). ومن الضروري معرفة هذه الخواص من اجل التقييم المناسب لأي تقدير اشعاعي للمناعة ولضبط أي خلل في هذه الطريقة. وبناء عليه فان دراسة هذه الخواص سوف تكون العنوان الرئيسي في هذا الباب.

العوامل الحاثة (المولدات المضادة) Antigens :

العوامل الحاثة أي المولدات المضادة عبارة عن جزيئات تحث جسم الحيوان (المضيف) لعمل استجابة مناعية اذا ما تم ادخالها من جسم الحيوان، ولكن يكون لهذا المولد المضاد المقدرة على حث الجسم يجب أن يكون هذا الجزيء « غريباً » foreign عن جسم المضيف أي ان يعتبره الجسم المضيف « غير ذاتي » nonself .

ومعظم هذه المولدات المضادة عبارة عن سكريات عديدة أو بروتينات ذات وزن جزيء أكثر من ١٠٠٠٠ر١٠ . والجزيئات الأصغر من هذا يمكن أن تكون مولدات مضادة اذا ما ارتبطت بجزيئي بروتين أكبر قبل ادخالها الى الجسم المضيف. وغالباً ما يكون هذا الجزيء البروتيني الأكبر البومين من الجسم المضيف ذاته، ولهذا فان الاستجابة المناعية تتجه ناحية الجزيء الأصغر فقط، ومن ثم فان الجزيء الأصغر يطلق عليه تعبير « هابتن » a hapten أو الأكبر « حامل » a carrier . والكثير من طرق التقدير الاشعاعي للمناعة تشمل قياس جزيئات صغيرة كالأدوية والهرمونات الاسترودية،

والديجوكسين ، والكورتيزول . وهذه الجزيئات الصغيرة يجب أن تتحد مع البروتين لكي تحدث استجابة مناعية وبناء عليه تعتبر « هابتينات » haptens .

لجزيء المولد المضاد العديد من المواقع البنائية الفردية ولكل موقع القدرة على عمل استجابة مناعية ويمكن تسمية هذه المواقع المحددة للحث المناعي ويمكن لمولدين مضادين مختلفين أن يحتويا على موقع محدذ أو أكثر من المواقع المحددة للحث المناعي ويكونان متماثلين تماماً أو أقرب الى التماثل في كليهما .

ويعتقد أن الاستجابة المناعية الأولية في الجسم المضيف للمولد المضاد تبدأ بما يسمى بعملية البلعمة phagocytosis وهي ابتلاع والتهام بعض الخلايا الغريبة الخاصة بالمولد المضاد (العامل الحاث) الموجود في الجسم المضيف . ومن خلال هذه الاستجابة الأولية ، تتوافر للجسم المضيف المعلومات عن التركيب البنائي النوعي لهذا المولد المضاد ثم تستخدم هذه المعلومات بواسطة الجسم المضيف في بناء وانتاج الأجسام المضادة اللازمة .

الأجسام المضادة Antibodies :

الأجسام المضادة عبارة عن بروتينات تنتجها خلايا البلازما والخلايا الليمفاوية (بيتا) الموجودة في الجسم المضيف ووظيفة الجسم المضاد هو الارتباط بالمولد المضاد الذي تسبب في هذه الاستجابة والنتيجة النهائية هي تخلص الجسم من هذا المولد المضاد. ويمكن أن يتم هذا اما بتثبيط هذا المولد المضاد أو بتكسير الجزء المكون له أو بتسليمها الى كريات الدم البيضاء حيث يتم التهام هذا المولد المضاد .

ولا ترتبط الأجسام المضادة بالمولدات المضادة داخل الجسم المضيف (تفاعل حياتي) an in vivo reaction ، وانما يمكنها عمل ذلك في أنابيب الاختبار تحت الظروف الملائمة (تفاعل غير حياتي) an in vitro reaction ، وهذا التفاعل غير الحياتي هو أساس التفاعلات المناعية الكيميائية مثل

التقدير الاشعاعي للمناعة.

يتكون الجسم المضاد من أربع سلسلات ببتيدية عديدة مرتبطة ببعضها بروابط كبريتيدية ثنائية. اثنتان من هذه السلسلات قصيرة نسبياً وتسمى السلسلات الخفيفة، والآخرتان أطول ويشار اليها بالسلسلات الثقيلة وهناك خمسة أقسام للأجسام المضادة أو الجاما جلوبيولين gamma globulin تسمى جلوبيولينات المناعة immunoglobulin واختصارها (Ig) وتندرج معظم الأجسام المضادة المستخدمة في التقدير الاشعاعي للمناعة تحت القسم G واختصارها (IgG).

والجزء من الجسم المضاد القادر على الارتباط بالمولد المضاد يسمى بالموقع الرابط للمولد المضاد وبعض الباحثين يصفون هذا الموقع الرابط على انه نقرة أو تجويف موجود على الجزء الطرفي من السلسلة الثقيلة حيث أن ترتيب وتعاقب الاحماض الامينية ينتج عنه شكلا يتناسب مع شكل الموقع المحدد للحث المناعي في المولد المضاد، ولكل جزيء من الأجسام المضادة موقعان رابطان متشابهان تمام التشابه، ويمكن لمولد مضاد مشابه في التركيب أن يتوافق جزئياً مع هذا التجويف أو النقرة ويتم بينهما ترابط جزئي ويسمى هذا النوع من النشاط بالتفاعل العبوري (التبادلي) cross-reaction ويحدث شكل آخر من أشكال التفاعل العبوري (التبادلي) عندما يكون لمولدين مضادين مختلفين واحد أو أكثر من نفس المواقع المحددة للحث المناعي. وبالتالي فان الاجسام المضادة المنتجة كاستجابة لأي منهما لا يمكنها أن تفرق بين هذين المولدين المضادين، وكمثال لهذا فان جزيء الهرمون المنشط للخلايا الجنسية human chorionic gonadotropin واختصاره (HCG) يتكون من سلسلتين ألفا وبيتا، أما الهرمون المنشط للتبويض luteinizing hormone واختصاره (LH) فله سلسلة ألفا تشابه تماماً سلسلة ألفا الموجودة في الهرمون المنشط للخلايا الجنسية، ولذلك فان الأجسام المضادة المكونة استجابة للسلسلة ألفا من

جزيء HCG تتفاعل أيضاً مع الهرمون المنشط للتبويض (LH) ، ولمنع هذا النوع من التفاعل العبوري (التبادلي) فانه يصبح من المهم فصل كل من السلسلة ألفا وبيتا لهرمون (HCG) وانتاج أجسام مضادة للسلسلة بيتا فقط وفي بعض الأحيان تكون عملية فصل الموقع المحدد المشترك مستحيلة أو في غاية الصعوبة أو مكلفة للغاية وذلك قبل انتاج أجسام مضادة. وعند قياس واحد فقط من مولدين مضادين موجودين في نفس العينة فانه من الضروري أولا ازالة المولد المضاد الذي يتسبب في التفاعل العبوري (التبادلي) ، فالتقدير الاشعاعي المناعي للهرمون الانثوي estradiol مثلا يتطلب استخلاصه من العينة بواسطة البنزين وذلك قبل اجراء التقدير.

طرق الترقيم Labelling procedures :

الطريقة المتبعة في الغالب لترقيم البروتينات والببتيدات العديدة المحتوية على بقايا التيروزين هي الترقيم باليود المشع١٣١ ، اليود المشع١٢٥ . ويتكون التفاعل من احلال اليود المشع المنتج بواسطة أكسدة اليوديد في وجود البروتين. ولأغراض التقدير الاشعاعي للمناعة ، كانت أول طريقة متبعة هي طريقة اليود احادي الكلوريد وفيها يتم أكسدة اليوديد المشع الى يود مشع موجود في حالة اتزان مع كلوريد اليود وبعد ذلك يتفاعل مع البروتين. وعلى الرغم من ذلك فانه للحصول على نشاط اشعاعي نوعي عالٍ الى حد ما فان ذلك يحتاج الى كميات كبيرة من اليوديد المشع.

وأكثر الطرق المستخدمة شيوعاً هي طريقة الكلورامين ـ ت (chlora-mine-T) وفيها تتم أكسدة االايوديد باستعمال الكلورامين ـ ت.

وطريقة هنتر وجرينوود الأصلية المتّبعة لعدد كبير من البروتينات وتم تعديلها بالنسبة لكمية الكواشف المستخدمة وزمن التفاعل من أجل تقليل التأثير الهدمي للكلورامين ـ ت على البروتينات.

ومن المرغوب فيه أن يكون النشاط النوعي الاشعاعي للعامل الحاث المرقم

عالياً من أجل الزيادة المتوقعة في حساسية منحنى التثبيط .

وعندما يكون علينا تخزين العامل الحاث المرقم لعدة أسابيع فإنه ليس من المرغوب فيه أن يتم ترقيمه عند أعلى نشاط اشعاعي نوعي ممكن وفي الحقيقة فان التأثير المتلف للاشعاع أثناء التخزين تكون كمية كبيرة أكبر عندما يكون النشاط النوعي عالياً .

والجدول التالي يوضح تزايد التأثير المتلف للاشعاع على الهرمون المنشط للغدة الدرقية TSH وذلك عند مستويات مختلفة من النشاط النوعي .

تهدم الهرمون المنشط للغدة الدرقية المشع أثناء التخزين .

القيم المعطاة هي $100 \times \frac{Bo}{T}$

عدد الأيام بعد الترقيم	النشاط النوعي للهرمون المنشط للغدة الدرقية (Uci/ug) ميكروكوري/ ميكروجرام .			
	٦٣٫٥	١١٤	٢٢٥	٧٥٠
٠	٣٧٫٣	٢٤٫٥	٣٦	٣٣٫٥
١٥	٢٩٫٥	٢٣	٢٢٫٧	١٤٫٩
٣٠	٢٣٫٤	١٦	١٢٫٧	٤٫٧

حيث أن Bo : كمية النشاط الاشعاعي المرتبط في غياب العامل الحاث المرقم .

T : كمية النشاط الاشعاعي الكلي .

واستخدام تركيزات عالية من الكلورامين ـ ت يمكن أن ينتج عنها هدم في بناء الهرمون فيترشح الهرمون المدرللبن prolactine على عمود سيفادكس

G 75 والمرقم بـ : ١٠ و ١٠٠ µg من الكلورامين ـ ت ويتم الحصول على شكل مختلف من منحنى الازاحة في كلتي الحالتين elution curve. فعندما تم ترقيم الهرمون بـ ١٠٠ ميكروجرام من الكلورامين ـ ت ظهر النشاط الاشعاعي في المنحنى ممثلا لقمة واسعة غير متناظرة تليه قمة أخرى أصغر من القمة الأولى ليس لها تفاعل مناعي وتمثل الهرمون المهترم.أما الهرمون المرقم بـ ١٠ ميكروجرام من الكلورامين ـ ت فقد ظهر لها قمة متناظرة تحتوي الهرمون ذي التفاعل المناعي وعندما قدرت منحنيات المنع للنوعين المرقمين من الهرمون تم الحصول على الحساسية المثلى الخاصة بمكونات الهرمون وذلك باستخدام ١٠ ميكروجرام من الكلورامين ـ ت.

وهناك طريقة توصف بانها بسيطة سهلة وقد بدأت تحل تدريجياً محل طريقة الكلورامين ـ ت وهي طريقة التأثير الاشعاعي الانزيمي enzymatic radioiodination وفيها يستخدم انزيم لاكتوبيرو أكسيديز (LPO) كعامل مؤكد في وجود ماء الأوكسجين وعموماً فان هذه الطريقة تعطي سعة ارتباط أعلى في حالة عدم وجود العامل الحاث غير المرقم مما يعني هدم أقل وقد عملت مقارنة بين كل من الهرمونات TSH, LH, FSH مرقمة بكل من الطريقتين مع تثبيت النشاط الاشعاعي النوعي فوجد أن العينات المرقمة بواسطة LPO تظهر سعة ارتباط أعلى.

ويبدو أن هناك عاملين يحددان ثبات الهرمون المرقم وهما طبيعته ونشاطه النوعي ويُعبَّر عن السعة الارتباطية بالنسبة المئوية للارتباط في اليوم صفر وفي كل الحالات وجد أن النسبة المئوية للارتباط في اليومين ١٥ ، ٣٠ على الترتيب لا تعتمد على الطريقة النقية المستخدمة في التأثير.

وقد أدخل العالمان بولدتون وهنتر طريقة حسنة للغاية وفيها لا يلامس أي عامل مؤكسد الببتيدات العديدة.

يرقم أولا مركب hidrosuccinimide ester of 3-(4 -hydrosphenyl)

propionic acid- بطريقة الكلورامين ـ ت ثم يستخرج ويجفف وبعد ذلك يتحد هذا المركب مع الببتيد وعموماً فان الاستيرويدات ومواداً مختلفة أخرى ترقم بالتريتيوم tritium لكن لزيادة نشاطها النوعي فانه يتم اتحادها باستر المثيل تيروزين tyrosine methyl ester لكن يتم ترقيمها باليود المشع. وبعد عملية الترقيم فان من الواجب أن تمر المنتجات بعملية تنقية تامة.

واعتماداً على طبيعة الهرمون فان هناك عدة طرق مثل الترشيح الجيلاتيني gel filtration والرسم الكروماتوجرافي للتغيير الأيوني أو الجذب الكهربي للجيلاتين gel electrophoresis.

انتاج الأجسام المضادة:

وانتاج الأجسام المضادة تمثل الصعوبة الثانية التي تقابلنا للقيام بعملية التقدير الاشعاعي للمناعة وانتاج هذه الأجسام يتضمن عدداً من العوامل.

١ - **نوع الحيوان المستخدم**: ذلك أن بعض الأنواع تستجيب لعامل حاث معين بصورة أحسن من العوامل الأخرى وبطبيعة الحال فان مقدرة الحيوان على التعرف على العامل الحاث كجسم غريب شيء أساسي فكلما زادت غرابة هذا العامل كلما كانت الاستجابة المناعية أكثر.

٢ - **نقاء العامل الحاث**: ذلك أن وجود مواد أخرى لها قدرة حث مناعي في المادة التي يتم ادخالها أو حقنها في الحيوان فينتج عنها انتاج أجسام مضادة لهذه المواد أيضاً. فاذا كانت لهذه المواد الزائدة بناء يشابه لدرجة قريبة بناء العامل الحاث الذي نريد انتاج أجسام مضادة له فانه سوف يحدث التفاعل المزدوج، وفي أغلب الحالات فان ذلك يكون من غير المرغوب فيه لذلك فانه يتم تنقية العامل الحاث بأكبر عناية ممكنة قبل ادخاله في الحيوان.

٣ ـ وهناك عوامل أخرى مثل جرعة العامل الحاث للمناعة وعدد مرات الحقن والطريق الذي يتم عن طريق ادخال العامل الحاث. والطريقة المتبعة عادة هي حقن أكبر عدد ممكن من الحيوانات بالعامل الحاث وفي الغالب فان اخصائيي المناعة الاشعاعية يستخدمون الأرانب وخنازير غينيا guinea pigs لانهما يعطيان كميات لابأس بها من السائل المحتوي على الأجسام المضادة بعد حقنهم بكميات ضئيلة نسبياً من العامل الحاث. ان تنقية الحقن تختلف باختلاف الطريق المتبع في حقن العامل الحاث وهو اما يكون عن طريق الحقن داخل التجويف البرتوني، أو تحت الجلد، أو في الجلد أو في الوريد أو في العقد الليمفاوية.

وعموماً فانه يتم حقن ٢ر٠ ـ ٢ مم من العامل الحاث مرة واحدة كمعلق في سائل فريوند أو عدة مرات والرأي فيها يختلف من باحث لآخر ولكن يبدو أنها يجب الا تزيد مطلقاً عن مرة واحدة في الشهر. ويبدأ الحيوان في انتاج الأجسام المضادة بعد مضي من ثلاثة الى أربعة أسابيع، لذلك فان معايرة الأجسام المضادة يجب أن تتم بعد مضي أربعة أسابيع من الحقنة الأولى وبعد أسبوع واحد من الحقنة المقوية. وقد تم حديثاً انتاج سائل المحتوي على الأجسام المضادة النوعية لوحدات تحتية (HCG) بكميات ضئيلة للغاية من العامل الحاث تتراوح فيما بين ١٠ الى ١٠٠ ميكروجرام؛ فقد تم حقن معلق العامل الحاث في محلول فريوند داخل الجلد في ٣٠ ـ ٥٠ موقعاً على ظهر الأرانب وبدون حقن أخرى تم الحصول على كميات مرضية من السائل المحتوي على الأجسام المضادة خلال خمسين يوماً. وبصفة عامة فان الهرمونات التي تحوي بروتين ذات وزن جزيئي أكبر (مثل هرمون النمو GH، والهرمون المنشط للغدة الدرقية THS، والهرمون المنشط للخلايا الجنسية HCG حيث الوزن الجزيئي أكثر من ١٥٠٠) لها القدرة على الحقن لاستجابة مناعية أعلى، أما الببتيدات

الأصغر (وزن جزيئي أصغر من ٥٠٠) فلها اما قدرة حث مناعي ضئيلة أو ليس لها قدرة على الاطلاق لذلك يجب ربطها بحامل (حبيبات حاملة، جزيئات كبيرة مخلقة أو بروتينات طبيعية)حيث يمكن الحصول على استجابة مناعية لها. والمواد الأخرى التي لها صفة الهابتن مثل (الدهنيات والسكريات العديدة والاستيرويدات) يجب أيضاً ربطها بحامل حتى تصبح ذات قدرة حث مناعي.

نوعية الأجسام المضادة:

من الواجب أن تكون الأجسام المضادة نوعية، ولكن المشكلة تكون تقصيراً في حالة الهرمونات الجليكوبروتينية مثل (HCG, FSH, LH) حيث يتكون كل منها من وحدتين تحتيتين ألفا وبيتا مرتبطتين بروابط غير متشابهة. أما الوحدة التحتية ألفا في كل من الهرمونات الأربعة متشابهة كيميائياً ومتطابقة مناعياً في حين أن الوحدة التحتية بيتا تختلف في كل منهم، وهي التي تضفي على كل منهم النوعية البيولوجية لذلك فان الأجسام المضادة لأحد الهرمونات يمكن أن يتفاعل مع المواقع المحددة للحث المناعي والخاص بالبناء الرباعي للهرمون الناتج من اتحاد الوحدتين التحتيتين ألفا وبيتا، وقد أُعطي مثال لذلك للهرمون HGG. ويمكن توجيه الأجسام المضادة للمواقع المحددة للحث المناعي الخاصة بأي من الوحدتين ألفاوبيتا. وحيث أن التفاعل العبوري بين الوحدات ألفا لكل من TSH, LH, FSH, HCG يكون كاملا، فان الأجسام المضادة لالفا يمكنها التفاعل مع كل من الهرمونات الجليكوبروتين الأربعة، وحيث أن الوحدات بيتا لكل من HCG, LH تشتركان في المواقع المحددة للحث المناعي فان الأجسام المضادة بيتا لأي من LH, HCG لا يمكنها التمييز بين HCG, LH. ويمكن ملاحظة تفاعلا عبورياً غير تام بين عدد من الهرمونات الجليكوبروتينية في عملية التقدير الاشعاعي للمناعة لـ FSH ويُعزى هذا

التفاعل العبوري غير التام الى وجود عدد من الأجسام المضادة موجهة للمواقع المحددة للحث المناعي للوحدات المشتركة ألفا لهذه الهرمونات، ويمكن أن تصبح هذه الأجسام المضادة نوعية لـ FSH اذا ما أجرينا عملية تعادل باستخدام ٢ نانوجرام HCG .

فصل العامل الحاث والمرتبط والحر:

ورابعاً فانه للقيام بعملية التقدير الاشباعي للمناعة فنحن نحتاج الى عملية فصل جيدة فيما بين العامل الحاث المرتبط والحر وكانت أول طريقة للفصل هي طريقة الحمل الكهربي الكروماتوني على الورق وهي طريقة مميزة للغاية ولكن يعيبها انها معقدة وتستهلك وقتاً بالاضافة الى انها مكلفة من حيث الأجهزة المطلوبة.

ومركب الجسم المضاد ومع العامل الحاث (أي الجزء المرتبط) يمكن ترسيبه بمذيبات عضوية مختلفة أو بأملاح غير عضوية مثل الاسيتون acetone أو الايثانول ethanol أو الديوكسان dioxane أو كبريتات الصوديوم أو الأمونيوم sodium or ammonium sulfate أو جليكولات البولي اثيلين polyethylene glycol وهذه الطريقة في غاية البساطة الا أن البروتينات الموجودة في السيرم serum protein غالباً ما تتداخل ويكون الفصل بين العامل الحاث المرتبط والحر غير تام.

ولتقدير بعض العوامل الحاثة مثل الهرمون المنشط لقشرة الغدة الكظرية ACTH أو الانسولين أو LH أو الكالستونين فان من الممكن امتصاص العامل الحاث الحر على بودرة زجاج السليكات أو السيليلوز cellulose أو الفحم النباتي المغطى بالديكستران، الا أن هذه الطريقة البسيطة يجب أن تكون قياسية بشكل جيد حيث أن اتمام عملية الفصل يتأثر بالبروتينات الأخرى الموجودة في السيرم.

أما أكثر الطرق استخداماً وأحسنها من الناحية العملية فهي طريقة الجسم المضاد المزدوج وفيها يستخدم جسم مضادٌ ثان لترسيب مركب الجسم المضاد مع العامل الحاث وبصفة عامة فانه لزيادة كمية البروتينات المرسبة يضاف الى الوسط جاما جلوبيولينات خاملة ثم يعزل الراسب إما بواسطة الرد المركزي أو الترشيح . أما فيا يتعلق بالجسم الثاني فانه ينتج في حيوانات ضخمة كالغنم والماعز حيث يتم حقنها بواسطة جاما جلوبيولينات من الحيوان المستخدم أصلا في الحصول على الجسم المضاد النوعي .

$$Ag^* + Ab \rightleftharpoons Ag^* Ab + \text{anti-}\gamma\text{-globulin} \longrightarrow \underbrace{(Ag^* Ab)\ \text{anti-}\gamma\text{-globulin}}_{\text{precipitate}}$$

واحدى المشكلات الرئيسية التي تقابلنا عند استخدام هذه الطريقة هي الحاجة لايجاد منطقة الترسيب المثلى وهي النسبة الصحيحة بين الأجسام المضادة للجاما جلوبيولينات والجاما جلوبيولينات في الوسط ؛ وهذا واحد من الأسباب التي أدت الى ابتكار طريق مرحلة الصلابة للفصل وفيها يتم ربط الأجسام المضادة بقاعدة صلبة غير قابلة للذوبان . وقد استخدمت طريقتان حيث يتم ربط الجسم المضاد الثاني بالقاعدة الصلبة . وفي كلتا الحالتين حيث تصبح الأجسام المضادة غير مذابة فان الفصل بين العامل الحاث الحر والمرتبط يكون في غاية السرعة واليسر . ويمكن للأجسام المضادة أن ترتبط كيميائياً بقواعد صلبة مثل سيليلوز البرومواستيل bromoacetyl cellulose أو السيليلوز المنشط بالسيانوجين cyanogen activated cellulose أو السفادكس sephadex ومركب enzacryl . ومركب الجسم المضاد مع القاعدة الصلبة يسمى « الممتز المناعي للجسم المضاد » antibody - immunoadsorbent . وفيزيائياً أيضاً فانه يمكن امتزاز (امدصاص) الأجسام المضادة على أقراص من البولي بروبلين polypropylin أو أنابيب بلاستيك من البولي استر ، أيضاً قد نجح بعض الباحثون في الحصول على أجسام مضادة غير مذابة بـ polymerization

with ethyl chloroformate or glutaraldehyde . وطرق التقدير المعتمدة على الحالة الصلبة والتي يتم فيها ربط الجسم المضاد النوعي بقاعدة صلبة تعتبر أقل حساسية وانتاجية من طريقة الجسم المضاد المزدوج .

وهناك طريقة يمكن الاعتماد عليها بصورة أفضل كما انها أسهل من الناحية العملية وهي الطريقة التي فيها يتم ربط الجسم المضاد الثاني بقاعدة صلبة DASP . وهذه المميزات المناعية تتمتع بدرجة عالية من الثبات ويمكن استخدامها لكل الأجسام المضادة لنوع حيواني خاص .

ويعلو المنحنى المرجعي المتحصل عليه مع LH والذي تم الحصول عليه بطريقة DASP ، ذلك المنحنى الذي تم الحصول عليه بطريقة الجسم المزدوج . في كلتا الطريقتين هناك علاقات جيدة بين مستويات LH في السيرم .

الطرق التي تستخدم الأجسام المضادة المرقمة :

استخدم حديثاً العامل غير المذاب المسمى بالممتز المناعي للعامل الحاث antigen-immunoadsorbent لاستخراج الأجسام المضادة النوعية من السيرم لأغراض الترقيم ، يتم ربط العامل كيميائياً بمركب diazotized cellulose أو سليلوز منشط بالسيانوجين cyanogen activated cellulose ثم يتم ترقيم الأجسام المضادة باليود المشع عندما تربط على الممتز النوعي للعامل الحاث ليتم الحفاظ على أحد المواقع من الأجسام المضادة ثم تعزل الأجسام المضادة بعد الترقيم باستخدام محلول منظم حمضي أو عوامل مثل اليوريا ، وجوانيدين لكسر مركب الجسم المضاد مع العامل الحاث وتصنف طريقتان لقياس العامل الحاث عند استخدام الأجسام المضادة النوعية المرقمة ، الطريقة الأولى وتتعلق بالتقدير بالعد الاشعاعي المناعي immunoradiometric assay وفيها تستخدم كمية زائدة من الجسم المضاد المرقم لتتفاعل مع العامل الحاث مكونة مركب الجسم المضاد المركب مع العامل الحاث ثم تزال البقية من الأجسام المضادة التي

لم تتفاعل باضافة كميات زائدة من الممتز المناعي للعامل الحاث وبعد الطرد المركزي فان الطبقة السطحية (المحلول الرائق) تحوي مركب الجسم المضاد المركب مع العامل الحاث والنشاط الاشعاعي المقاس يتناسب مباشرة مع كمية العامل الحاث الأولية.

$$Ag + Ab^{*} \rightarrow Ag - Ab^{*} + Ab^{*}$$

(العامل الحاث) (الجسم المضاد المرقم) (مركب من العامل الحاث والجسم المضاد المرقم) (الجسم المضاد الحر)

+ $Imad - Ag$

(عامل حاث مناعي مدمص أي ممتز)

$$Imad - Ag - Ab^{*} + Ag - Ab^{*}$$

(محلول رائق يتم عده اشعاعياً) يتم فصلها بالطرد المركزي

وفي الطريقة الثانية التي تسمى طريقة السندويتش أو طريقة مياسس الموقعين يستخدم ممتز مناعي للجسم المضاد لاستخلاص العامل الحاث من السوائل البيولوجية فبعد الغسيل من أجل ازالة أية بروتينات أخرى يتم اظهار العامل الحاث المرتبط بالممتز المناعي عن طريق اضافة أجسام مضادة نوعية مرقمة. وبعد ذلك فان النشاط التفاعلي المرتبط على الممتز المناعي يكون متناسباً مباشرة مع كمية العامل الحاث الأولية. لهذا فان هذه الطريقة تتعلق في الحقيقة باستخراج العامل الحاث من السوائل الحيوية قبل اجراء عملية التقدير وهي ذات حساسية عالية.

$$Imad - Ab + Ag \longrightarrow Imad - Ab - Ag$$

الممتز المناعي للجسم المضاد   عامل حاث

١ - طرد مركزي

٢ - غسيل

$$Imad - Ab - Ag - Ab^{*} \longleftarrow Ab^{*} + Imad - Ab - Ag$$

جسم مضاد مرقم

١ ـ طرد مركزي
٢ ـ غسيل
٣ ـ عد اشعاعي

النظام المناعي ينبغي أن يكون قابلاً للتطبيق على الأوساط البيولوجية :

يجب أن يكون هناك تمايز تام بين العامل الحاث الاختياري والعامل الحاث الموجود في السائل البيولوجي ويمكن اختيار ذلك بالبحث عن وجود توازن بين هرمون الاختبار والهرمون الموجود في الأوساط البيولوجية ، فالأوساط البيولوجية يمكنها أن تمنع تكوين مركب الجسم المضاد مع العامل الحاث (اليوريا ، الرقم الايدروجيني ودرجة الحرارة ، بروتينات أخرى في السيرم) ومثل هذه العوامل يجب التحكم فيها دائماً .

ولتجهيز كل العوامل المساعدة سالفة الذكر فان المعمل يكون في حاجة الى أجهزة في غاية الاختلاف من أجهزة معملية كيميائية مثل (جهاز التحليل بالحمل الكهربي electrophoresis ، وجهاز التحليل بالحمل الكهربي المناعي immunoelectrophoresis ، وحمامات مائية للتبخير ، وأجهزة طرد مركزية ، وأجهزة صيدلية مثل جهاز الهزاز والخلط والتوزيع للسوائل الاوتوماتيكي automatic solution dispenser ، محطة ملء الاميولات vial filling station ، أجهزة سد وتغليف stopping & capsuling devices ، مجففات تجميد freeze-dryers ، حجرات باردة ومجمدة .

ومجال الاستخدام غير محدود ، ففي الوقت الحالي فان التقدير الاشعاعي للمناعة ينمو في مجال الطب النووي في الاتجاهات الآتية :

ـ الخصوبة : الاستيرويدات ، وهرمونات تنشيط الخلايا الجنسية .

- السرطان: العامل الحاث ذات الصفة السرطانية.
- أمراض القلب والجهاز الدوري: عوامل حاثة نوعية أو انزيمات.
- التسممات الناتجة عن استخدام الأدوية: العقاقير ذات النشاط العالي.
- أمراض الدم والقلب.
- العدوى بالفيروسات.

وحالياً فقد بدأ النشاط في مجال الطب البيطري بتعيين العوامل الحاثة للأمراض المتوطنة والوبائية.

مراقبة الجودة في التقدير الاشعاعي للمناعة:

نظراً للطبيعة الخاصة للتقدير الاشعاعي للمناعة فان مراقبة الجودة فيها تكتسب أهمية خاصة.

ولاختبار الى أي مدى يمكننا الاعتماد على المركب الناتج فان من اللازم تأسيس نظام لمراقبة الجودة لذلك فقد تمّ دراسة الموضوعات الآتية:

- النوعية Specificity:

ويمكن تعريفها بامكانية عملية التقدير بقياس العامل الحاث الذي نود قياسه فقط وتعتمد على ثلاثة عوامل:

١ - التفاعلات العكسية المناعية والتي تميز السيرم المحتوي على الأجسام المضادة.

٢ - وجود شوائب مرقمة.

٣ - التأثير على وسط الحضانة.

- الحساسية **Sensitivity** :

وتتعلق بأقل كمية يمكن الكشف عنها من العامل الحاث المراد قياسه وحد الكشف (limit of determination) يمكن تعريفها كأقل كمية من العامل الحاث الممكن تمييزها عن معاملة الكونترول بدرجة احتمال ٩٥٪ .

- الضبط **Precision** :

ويمكن تعريفها بالتغير في قياسات العامل الحاث ويعتمد على الخطأ في تقدير العامل الحاث المرقم المرتبط وعلى انحدار المنحنى .

- الانتاجية **Reproducibility** :

يستخدم ضبط التقديرات كوسيلة لقياس الانتاجية وهذا يعني الانتاجية أثناء التقدير وبين التقديرات .

- الدقة **Accuracy** :

وتعرف بمدى تقارب القيم المقدرة للقيم الحقيقية ويمكن تقديرها بالمقارنة بين عينات مرجعية والعامل الحاث الموجود في الأوساط البيولوجية .

فان السائل المحتوي على مستوى عال من العامل الحاث (بعد تخفيف متدرج) يجب أن يظهر منحنى منع يوازي المنحنى الذي تم الحصول عليه من عينات مرجعية .

وهناك اختبار آخر للدقة هو اختبار الاستعادة لعامل حاث مرجعي المضاف الى السائل البيولوجي في كميات تتراوح قيمتها بين المستويات الممكن قياسها .

ومراقبة الجودة لا تكتسب أهمية فقط في المعمل الانتاجي ولكنها مهمة أيضاً في المعمل الطبي وبعض الأمم في الوقت الحاضر تهيء أنظمة وطنية

لمراقبة الجودة عن طريق جمع النتائج لعينات مجهولة مرسلة عن طريق مكتب المراقبة المركزي وبهذا فانه لا يتم اختبار العوامل فقط وانما الأجهزة وامكانية العمل.

مراقبة الجودة هي مسألة هامة في كل الأنشطة في الانتاج كما في المعمل. فعملية تصنيع جيدة أو عمل معملي جيد هي أساس ضمان الجودة.

وحيث أن تنظيم هذا التقرير يتجه صوب انتاج الكيماويات المشعة وبصفة خاصة العقاقير المشعة واستخدامها في الطب النووي لذلك فان الطريقة التحليلية لهذه المواضيع سيتم مناقشتها في هذا الجزء.

٣ ـ ٦ مراقبة الجودة:

تعتبر مراقبة الجودة لكل نظير مشع من الأمور الهامة سواء أكان ذلك أثناء العملية الانتاجية للنظير أو أثناء تداوله في المعمل ـ فجودة الممارسة أثناء التصنيع أو أثناء العمل في المعمل تعتبر من القواعد الأساسية لضمان الجودة.

ولما كان الهدف الرئيسي لهذا التقرير العلمي نحو انتاج المواد الكيميائية المشعة وبصفة خاصة المستحضرات الصيدلية المشعة radiopharmaceuticals واستخداماتها في مجال الطب النووي فاننا في هذا الباب سنتناول فقط بالدرس والتوضيح الطرق التحليلية المتعلقة بتلك المواد السابقة الذكر.

طرق القياس وضمان الجودة للمواد المشعة:

غالباً ما يواجه الشخص الذي يعمل بالنظائر المشعة مشكلة الحاجة الى مصادر قياسية مختلفة لكل نظير مشع يراد تحليله أو تقديره في حالة استخدام طريقة المقارنة العادية في عملية القياس أو التقدير. كما يمثل قصر عمر العديد من المصادر القياسية المشعة المشكلة الثانية التي تجعل طريقة التقدير بالمقارنة

عملية معقدة. ولحسن الحظ فانه يمكن الحصول على تقديرات دقيقة عن طريق مقارنة النشاط الاشعاعي للنظير المشع موضوع الدراسة بنظير مشع آخر مختلف مع اجراء التصميات الملائمة الخاصة بالنشاط الاشعاعي. ومن ناحية أخرى عندما تستخدم طرق العد الاشعاعي المباشر فليست هناك حاجة لعملية المقارنة. وغالباً ما تستخدم طريقة التقدير بالمقارنة على نطاق واسع وذلك للسهولة وقلة التعقيد. ولحسن الحظ تتوفر لهذا الغرض عديد من المصادر القياسية. وغالباً ما يكون لتلك المصادر القياسية فترات نصف عمر طويلة كافية تمكن من الاستخدام يومياً ولفترات زمنية طويلة.

ومن ثم فانه يبدو من الأفضل الرجوع الى المصادر (المعايير) القياسية الدولية كلما أمكن أو المصادر القومية أو المصادر القياسية الخاصة بمجال العمل أو المتداولة في المعمل أو مصادر الضبط والمعايرة الخاصة بمعمل متخصص.

وتتوفر مصادر اشعاعية مشابهة (مضاهية) لأربعة نظائر مشعة واسعة الانتشار وهي نظائر: اليود١٣١، اليود١٢٥، التكنيسيوم٩٩m والزّينون١٢٣.

يجب على الشخص الذي يستخدم المصادر المشابهة المذكورة سابقاً أن يكون على إلمام ودراية بأن كلا من - الاختلافات في الطاقة للنظائر المشعة المستخدمة، والاختلافات أو الفروق في القوة النسبية للاشعاع (وخاصة كدالة للزمن)، والشوائب، واضعاف الاشعاعات ذات الطاقة المنخفضة بواسطة حجم المصدر أو بواسطة مادة الوعاء الحاوي - الى التقليل من مدى ملاءمة إستخدام المصدر المشابه للكشف الاشعاعي. كما ان نفس الاعتبارات السابقة عادة ما تقلل من فترة الحياة المفيدة (الفعالة) للمصادر المشابهة المذكورة والتي ربما تتكون من خليط من اثنين أو أكثر من النويدات المشعة.

يواجه كل من المنتج و/أو المستخدم لتلك المصادر عديداً من المشاكل مثال ذلك الشوائب من النويدات المشعة، والتي عادة ما توجد في تلك المصادر. وربما

تتواجد نفس تلك الشوائب النووية في المركبات الصيدلانية المشعة التي نرغب في قياسها وتقديرها، ومن ثم تتعقد المشكلة. يجب أن يكون مرفقاً بالشهادة الخاصة بأي مصدر من تلك المصادر كل المعلومات والبيانات الخاصة بالشوائب النووية الموجودة في ذلك المصدر. وبالطبع سوف يقصر العمر الفعال والمفيد لذلك المصدر في حالة تواجد شوائب نووية ذات أعمار طويلة داخلة في تركيبه.

هناك نوع من الشك وعدم الثقة في منحنيات الانحلال الاشعاعي المتعلقة بتلك المصادر، حيث لا بد من اجراء تعديل وتنقيح دائم ومتكرر كل فترة قصيرة على كل تصنيفات منحنيات الانحلال الاشعاعي المستخدمة في معايرة تلك المصادر وعند تقدير أفضل فترات نصف العمر المتحصل عليها بواسطة منحنيات الانحلال الاشعاعي. وأخيراً فان هناك نوع من الغموض وعدم اليقين المصاحب لاستخدام بعض المصادر الاشعاعية المغلفة بأحكام sealed والتي تستخدم في جهاز عداد التلألؤ السائل. وأمكن لبعض المنتجين أن ينتجوا مصادر مشعة من خصائصها الا تخمد التلألؤ unquenched والتي أعدت خصيصاً لغرض التأكد من صحة ظروف الاداء والتشغيل لجهاز العد الاشعاعي. ويجب عدم استعمال مثل تلك المصادر في تقدير مدى كفاءة العد الاشعاعي لعينات غير معروفة (مجهولة). اذ أن أنسب طريقة فقط لتقدير كفاءة وفعالية العد الاشعاعي تحضير عينات قياسية وأخرى مجهولة تحت نفس الظروف المتماثلة.

اذاً يجب أن تكون كل العوامل التالية متماثلة لكل من العينة القياسية والعينة المجهولة المراد قياس مدى كفاءة العد الاشعاعي لها:

العبوات - نوع العبوة - تركيب سائل التلألؤ - طول العمود الكلي للمحلول والتركيب الكيماوي لكل من العينة القياسية والعينة المجهولة.

شبه مستقر m = meta stable *

طرق قياس النشاط الاشعاعي:

أول مشكلة في عملية قياس النشاط الاشعاعي هو اختيار الطريقة المناسبة. وهناك طريقتان من بين طرق القياس المختلفة تعتبران ذات اهتمام خاص لدى الأشخاص العاملين في مجال الطب النووي. والطريقتان المذكورتان وهما طريقة القياس باستخدام النظام المكون من جهاز كاشف التلألؤ أو جهاز شبه الموصل semi-conductor بالاضافة الى عداد إشعاعي لعد الاشعاعات المنبعثة والطريقة الثانية في القياس باستخدام الطريقة المبنية على نظرية غرفة التأمين وغالباً ما تكون على هيئة جهاز قياس الجرعة.

أجهزة قياس طيف أشعة جاما Gamma- Ray Spectrometers :

يستخدم النظام الأول في العد الاشعاعي السابق ذكره على أجهزة كاشفة للاشعاع سواء كانت البلورة الخاصة به من نوع جرمانيوم (ليثيوم) أو يوديد الصوديوم (ثاليوم). ويمكن عن طريق كلا النوعين قياس درجة النقاوة الاشعاعية لأشعة جاما المنبعثة من النويدات المشعة. ويحتاج هذا النوع من نظام القياس أثناء العمل اليومي الى معايرة ما بين الحين والآخر كما تتطلب خبرة أكثر في التشغيل عن نظام القياس المعتمد على غرفة التأمين. وتعتبر طريقة جهاز قياس طيف أشعة جاما هي الطريقة الوحيدة التي يجب اختيارها في حالة قياس كمية النشاط الاشعاعي المنخفضة جداً أو العالية جداً. ففي حالة كمية النشاط الاشعاعي المنخفضة (في حدود عدة ميكروكوري أو أقل) يمكن استخدام جهاز كاشف التلألؤ ذي البئر well-type ، أما في حالة تركيزات النشاط الاشعاعي العالية (بالكوري) وخاصة في حالة العينات بمقادير كبيرة فيمكن الاستعانة بوسيلة لتثبيت الوضع الفراغي أو الهندسي للمادة المشعة المراد قياسها بحيث تكون على مسافة من بللورة جهاز قياس العد الاشعاعي.

أجهزة قياس أو معايرة الجرعة Dose calibrators :

تتكون معظم أجهزة قياس الجرعة بصفة أساسية من حجرات للتأمين متصلة بدوائر ألكترونية التي يمكنها أن تحول تيار الأيونات الناتجة بتأثير الاشعاعات المنبعثة من المصادر المشعة - الى قراءات رقمية تمثل وحدات صحيحة من أجزاء الميكروكوري . ويصمم مدخل حجرة التأمين بحيث تحاط العينة المراد قياسها كلياً بالحجم الفعال (الحساس) للجهاز . ويساعد هذا التصميم في التقليل الى أقل قدر ممكن من التأثيرات الناشئة عن الاختلافات الصغيرة في موضع وحجم العينة . معظم الأنظمة الخاصة بقياس الجرعة تملأ حجرات التأمين الخاصة بها بغاز الأرجون تحت ضغط قدره ٢٠ ضغط جوي ، ومن ثم فان تيار الأيونات الناشيء بفعل مصدر مشع يعادل ٢٠ مرة ذلك المتحصل عليه من نفس حجرة التأمين والتي تملأ بالهواء تحت واحد ضغط جوي . وعلى أية حال فان تيار الأيونات الخاص بالاشعاع القاعدي background في حالة غرفة التأمين المملوءة بغاز الأرجون سوف يعادل ضعف القيمة الخاصة بالاشعاع القاعدي الخاص بحجرة التأمين المملوءة بالهواء .

ويفضل جهاز قياس الجرعة - الذي أصبح ذا أهمية كبيرة في القياس والتحليل الاشعاعي للمستحضرات الصيدلية المشعة معمل عيادة الطب النووي ، أصبح بالامكان اجراء قياسات مباشرة وبدرجة عالية من الدقة لكمية النشاط الاشعاعي الخاصة بمصادر مشعة ذات أشكال هندسية مختلفة وذات تركيزات من النشاط الاشعاعي يتراوح من عدة ميكروكوري حتى عدة ملليكوري - كل ذلك يجري بدرجة عالية من الدقة وبسهولة نسبية . ومع ذلك فانه يلزم على مستخدمي أجهزة قياس الجرعة عند معايرة واستخدام تلك الأجهزة أن يأخذ في اعتباره النقاط التالية :

١) يجب استخدام وعاء قياس ثابت يتم فيه عملية العد الاشعاعي كذلك يجب

تثبيت حجم العينة المقاسة بالنسبة لكل العينات وذلك للتقليل من أخطاء القياس الى أقل قدر ممكن. وبالنسبة لكل نظير مشع يجب تقدير ودراسة العوامل التي تؤثر في عملية الضبط والمعايرة تحت ظروف ضبط وتشغيل خاصة لجهاز العد الاشعاعي: الوضع الهندسي أو الفراغي للعينة أثناء العد الاشعاعي (ارتفاع، وعرض وسمك جدران، وتركيب الوعاء الذي يتم فيه العد الاشعاعي للعينة المشعة)، وتركيب العينة، وحجم العينة. إن عدم توحيد وتماثل الوعاء الذي يتم فيه القياس وحجم العينة سوف يؤدي الى التحصل على نتائج غير صحيحة وخاصة في حالة قياسات النظائر المشعة التي ينبعث منها عند تحللها فوتونات ذات طاقة منخفضة مثل اليود١٢٣، اليود١٢٥، الزينون١٣٣، الثاليوم٢٠١، كذا فان اختلاف سمك الوعاء الحاوي للعينة المراد قياسها سوف يؤدي الى نتائج شاذة وغير صحيحة.

٢) امتصاص ذرات النظير المشع على جدران الوعاء الحاوي للعينة سوف يغير من خصائص الوضع الفراغي للعينة وكذا الامتصاص الداخلي، ولذا يجب قياس الوعاء الحاوي للعينة بعد ازالة محتواه من المادة المشعة.

٣) يجب الانتباه الى أن النويدات المشعة الغازية والمذابة في محلول ربما يؤدي الى فروق كبيرة في القياس كما نتوقع تغييرات في التوزيع الفراغي بسبب تباين واختلاف التركيز الاشعاعي للأجزاء المختلفة للحالة الغازية (مثال ذلك نظير الزينون١٣٣ المذاب في محلول قلوي). كما يجب قياس واختبار الوعاء الحاوي مرة أخرى وهو فارغ بعد ازالة محتوياته من المادة المشعة.

٤) يجب اختبار العلاقة الخطية ما بين تركيزات المادة المشعة وقياسات العد الاشعاعي التي يسجلها جهاز العد الاشعاعي لانه ربما يكون من الضروري في حالة قياس المواد المشعة ذات التركيزات العالية اجراء بعض

التصحيحات للقياسات الناتجة والتي ترجع الى الفقد في العد الاشعاعي الناشيء عن التشبع بالايونات.

الطريقة الأولى هي اجراء قياسات متكررة لنفس العبوة المحتوية على عينة مشعة معروفة التركيز لنظير مشع نقي ذو عمر النصف القصير. وفي حالة وجود شوائب نووية من الصعب أن نميز ما بين التأثير الناتج عن عدم وجود العلاقة الخطية وما بين التأثير الناتج عن الشوائب، ومن ثم فانه من الضروري تتبع القياسات الظاهرية على الرسم البياني لمنحنى الانحلال الاشعاعي المرسوم على ورق لوغارتمات حتى تصبح العلاقة خطية. ويشير الجزء المستقيم من منحنى الانحلال الاشعاعي الى محتوى العينة من النشاط الاشعاعي ذو فترة الحياة الأطول. ويمكن بمد الجزء المستقيم من العلاقة المذكورة الى الخلف حتى تصل الى زمن القراءة الأولى للعد الاشعاعي ثم يطرح الجزء الخاص الذي يمثل مساهمة النظير المشع ذو فترة الحياة الأطول - من المنحنى الذي يمثل العلاقة ما بين النشاط الاشعاعي الكلي الظاهري مع فترات زمنية مختلفة وهكذا. وتعتبر عملية تحليل منحنى الانحلال الاشعاعي المكون من ثلاثة نظائر أو أكثر طويلة العمر - عملية معقدة وغير مرضية تماماً.

الطريقة المفضلة هو قياس سلسلة من التخفيفات من محلول المادة المشعة والتي حضرت بدقة ويجب أن يكون عدد التخفيفات كبيراً حتى يمكن أن تغطي قراءات العد الاشعاعي الخاص بها، كل مجال القياسات التي تستخدم في المعمل. ويُراعى في تلك التخفيضات أيضاً أن يكون لها نفس التركيب الكيماوي ونفس حجم العينة المستخدمة هذا بالاضافة الى نفس نوع حامل العينة المستخدم في القياس. ويجب أن يتم قياس كل التخفيفات بواسطة جهاز قياس الجرعة في أقل فترة زمنية ممكنة. وطالما أن التخفيفات المذكورة تتكون من نفس النويدات المشعة أولها نفس

تركيب المخلوط من النويدات المشعة الموجودة في العينات المراد قياسها، فان رسم العلاقة البيانية بين النشاط الاشعاعي activity وبين أجزاء التخفيفات المختلفة سوف يعطي قياساً للعلاقة الخطية للجهاز المعاير كمدلول لكمية النشاط الاشعاعي.

٥) يجب أن يعاير الجهاز باستخدام مصادر قياسية مضمونة الجودة من نفس نوع النويدات المشعة موضع الدراسة. لو كان الوضع الفراغي (الهندسي) geometry للمصدر المشع لا يماثل تماماً الأوضاع الهندسية المستخدمة، فانه يلجأ الى مقارنة كمية معينة من المحلول الأصلي للنظير المشع والتي توضع في وعاء حاوي مماثل تماماً للمصدر، أو بنقل كمية معروفة من المحلول القياسي الى وعاء حاوي من النوع المستخدم عادة للعينة.

٦) يجب أن يجري تقدير يعرف باسم نسبة الاستجابة وهو عبارة عن نسبة الاستجابات أو قراءات العد الاشعاعي لكل ملليكوري من نظير مشع معين بالمقارنة مع العد الاشعاعي لمصدر قياس ذو فترة عمر طويل مثل مصدر الراديوم١٢٦ وذلك تحت ظروف ضبط موحدة للجهاز. وتعتبر هذه النسبة ثابتة لكل جهاز، ويجب تقديرها وحسابها أثناء عملية المعايرة الأولية لجهاز قياس الجرعة. ويمكن استخدام تلك النسبة في حساب كمية النشاط الاشعاعي لعينة من نفس النظير المشع وذلك عن طريق القياس المزدوج لكل من العينة المجهولة والمصدر المشع المرجعي reference (بعد اجراء التصحيح الخاص بالانحلال الاشعاعي). مثال ذلك لو كانت نسبة الاستجابة response ratio = ٥ر٠ لنظير مشع قياس من اليود١٣١ والذي تركيزه يعادل ١ ملليكوري بالمقارنة مع مصدر مرجعي من الراديوم٢٢٦، وفي قياس آخر لمصدر مشع من اليود١٣١ غير معروفة كمية النشاط الاشعاعي الخاصة به، وكانت نسبة الاستجابة لذلك المصدر المشع بالمقارنة بنفس المصدر المرجعي (الراديوم٢٢٦) تعادل ١٠، فان كمية

النشاط الاشعاعي المجهولة للمصدر المشع المذكور (يود١٣١) تساوي ٣٠ ملليكوري. وبالاستعانة بنسبة الاستجابة الخاصة بنظير مشع (غير معروفة كمية نشاطه الاشعاعي) بالمقارنة مع مصدر مرجعي طويل العمر فانه يمكن اجراء التصحيحات الناشئة عن التغيرات والأخطاء الخاصة بضبط عملية معايرة الجهاز. من المهم أيضاً أن نلاحظ انه في حالة تناقض الاستجابة أو قراءات العد الاشعاعي للمصدر المرجعي (ذو فترة الحياة الطويلة)، يمكن الاشتباه في وجود تسرب للغاز الموجود تحت ضغط في حجرة التأمين الخاصة بجهاز قياس الجرعة.

٧) تعتمد استجابة وحساسية غرفة التأمين ـ وبصفة خاصة في حالة قياس فوتونات أشعة جاما ذات الطاقة المنخفضة ـ على الغاز الذي يملأ غرفة التأمين وعلى ضغط هذا الغاز. يجب تصحيح القياسات الخاصة بأجهزة معايرة الجرعة المفتوحة unsealed والتي تملأ غرف التأمين الخاصة بها بالهواء العادي تحت ضغط قدره ١ ضغط جوي ـ وذلك بالنسبة للتغييرات في كثافة الهواء (ناشئة عن الحرارة ـ الضغط ـ الرطوبة النسبية) يجب وضع برنامج للضبط والمراقبة من خلال وداخل المعامل وذلك من أجل تتبع مدى دقة وجودة القياسات المذكورة.

النقاوة النووية Radionuclidic Purity :

ان اختبار وجود شوائب نووية بخلاف النظير المشع المقصود ـ بواسطة حواجز الامتصاص أو قياسات عمر النصف تعتبر وسيلة فعالة في حالة عدم وجود امكانية لاجراء قياسات الاشعاعات بالتحليل الطيفي باستخدام المطياف spectroscopic . وعلى أية حال يجب على الجهة المنتجة أو الموزعة أو التي تقوم بعملية المعايرة للنويدات المشعة أن تعين كمياً كل الشوائب النووية الممكن قياسها وأن تذكر حدود التركيزات من تلك الشوائب النووية الممكن

كشفها وقياسها . وهذا يتطلب خبرة على مستوى عال تفوق مستوى التجهيزات الروتينيـــة المتوفرة في المستشفيـــات الطبيـــة ، وتفرض مستوى من الـــدقـــة والحساسيـة والكفاءة لا تتوفر عـادة عنـدمـا يقوم المستخـدم العـادي لتلك النويدات المشعة باجراء مثل تلك الاختبارات للشوائب النووية . ومع ذلك فان بعض الالمام بالطرق المستخدمة في تقدير درجة النقاوة الاشعاعية ربما يساعـد في تقييم التقارير الخاصة بـالشوائب النوويـة أو حتى مجرد اقـتراح إستخدام الجهاز المناسب للتثبيت المستقل من صحة البيانات المذكورة عن تلك الشوائب . وغالباً ، سوف تخصص الدراسة هنا كلية على طرق قياس اشعاعات جاما والأشعة السينية (رونتجن) . ويمكن تطبيق بعض الطرق على قياس الالكترون المتحول أو قياس جسيمات ألفا بواسطة التحليل الطيفي باستخدام المطياف ، وذلك في حالة توفر المصادر المشعة الملائمة والأجهزة المناسبة . وعلى العموم فلن نتناول أية طريقة للقياس بالتفصيل . ويجب أن يوضع في الاعتبار استخدام جهاز كشف وقياس التلألؤ السائل liquid scintillation في اختبار وكشف الشوائب النووية التي تنبعث منها جسيمات ألفا أو أشعة بيتا . بينما يعتبر استخدام أجهزة الكاشفات ذات بلورات يـوديد الصوديوم (ثاليوم) مرضياً تماماً في القياسات الكمية للنويدات المشعة التي ينطلق منها أشعة جاما أحادية الطاقة . ولكن استخدام تلك الأجهزة لا يعتبر اختياراً موفقاً أو ملائماً في البحث والكشف عن الشوائب النووية ، ومن أجل ذلك يتطلب الأمر استخدام أجهزة كاشف جرمانيوم germanium ذات المقدرة الأفضل على اجراء التحليل الخاص بقياسات الشوائب النووية . ومع ذلك فان كاشفات جرمانيوم لن تشاطر اجهزة القياس الطيفي يـوديد الصوديوم (ثاليوم) في بعض خصائصها المرغوب فيها مثل : نسبة عالية من العد الاشعاعي عند قمة منحنى الطاقة ، وكفاءة ثابتة في القياس يمكن الاعتماد عليها ، والشكل التقريبي لمنحنى جاوس المثالي والخاص بالعد الاشعاعي .

ويمكن لأجهزة كاشف جرمانيوم أن توفر درجة من الحساسية والدقة في حدود ١ر٠ ٪ عند استخدامها في قياس شوائب النويدات المشعة والتي ينطلق منها إشعاعات جاما (نسبة الوفرة ١٠٠٪) بحيث يكون مستوى طاقة الأشعة الخاص بتلك الشوائب أقل من مستوى طاقة اشعاعات جاما الخاصة بالنظير المشع الرئيسي التي توجد معه تلك الشوائب، وسوف تكون درجة الحساسية في القياس أفضل في حالة الطاقة العالية لأشعة جاما الصادرة من النظائر المشعة الرئيسية الموجودة معها الشوائب النووية. كما ان جودة التحليل ومدى ثبات كاشف جرمانيوم سوف تساعد الى حد كبير في الكشف والتعرف على الشوائب النووية. ومع ذلك يجب أن يتضمن تعيين وتحديد تركيزات الشوائب النووية- تباين درجة الحساسية في التقدير بالنسبة لطاقات أشعة جاما المختلفة وخاصة في تلك المناطق التي يحدث بها تشويش أو اضطراب ناتج عن مظاهر طيفية عرضية (ثانوية).

يجب أن يكون معلوماً أن كاشف جرمانيوم الذي يستخدم في كشف وقياس النويدات المشعة التي ينبعث منها أشعة جاما ويقدم طريقة ملائمة وذات كفاءة وجودة في قياس الشوائب النووية التي ينطلق منها أشعة جاما، فان هذا الكاشف لا يمكنه كشف أو قياس الشوائب التي لا ينطلق منها فوتونات. وأخيراً فان الفصل الكيميائي أو الذي يعتمد على كتلة النظير isotopic mass في عملية الفصل، يمكن أن يساعد بدرجة كبيرة في كشف وقياس الشوائب النووية حتى تلك التي ينطلق منها اشعاعات ذات طاقة منخفضة عن طاقة النويدات المشعة الرئيسية.

النقلوة الكيميائية والنقاوة الكيميائية **الإشعاعية**
: Chemical and Radiochemical Purity

تعرف النقاوة الكيماوية بأنها النسبة المئوية لمادة ما والتي توجد في صورة كيميائية معينة بصرف النظر عن أي احلال نظائري. وسوف تتضمن

الوصفات الطبية لأي مستحضر صيدلي مشع مواصفات عن كل من المذيب ، المحلول المنظم ، وأي مواد مضافة أخرى ، وعلى هذا فان واجبنا هو التثبيت من وجود المادة المفترض تواجدها والتأكد من أن المواد الأخرى لا توجد بدرجة أكثر من حدود التركيزات المحددة . وتعرف النقاوة الكيميائية الاشعاعية بأنها تمثل الجزء من النشاط الاشعاعي الكلي والموجود في صورة كيميائية معينة ، ويتضمن ذلك تحديداً لموضع الترقيم النظائري في المركب ، بالرغم من أن الفقرة الأخيرة من التعريف نادراً ما تسبب مشاكل لمستخدم المستحضرات الصيدلية المشعة . ويعتبر هذا التعريف والتحديد لمفهوم النقاوة الكيميائية الاشعاعية واضحاً وذو قيمة في عملية مراقبة الجودة الخاصة بالمستحضرات الصيدلية المشعة . ومع ذلك سوف تصبح قيمة هذا التعريف محدودة اذا ما أجريت عملية الترقيم باستخدام نويدات مشعة غريبة عن ذرات المركب « foreign » مثال ذلك عملية ترقيم جزيء البروتين باستخدام النظير المشع لليود . وفي مثل تلك الحالات يكون الهدف أو الغرض من ذلك أن ينظر الى النقاوة الكيميائية الاشعاعية على انها النسبة أو الجزء من كمية النشاط الاشعاعي الموجود في تركيب المستحضر الصيدلي المشع والذي يسلك سلوكاً معيناً تحت ظروف محددة . مثال ذلك فان مستحضر الانسولين المرقم بنظير اليود١٢٥ يعتبر مناسباً لاستخدامه لقياسات المنافسة ولكنه غير مناسب للدراسات الاقتفائية في عمليات الأيض الخاصة بالأنسولين . وهذا التوضيح ليس مجرد مسألة مواصفات رديئة ولكن من أجل تلمس مدى أهمية الغرض والهدف من المقياس أو المعيار المستخدم . ومن الناحية العملية نحن عادة في مثل هذه الحالات لا نتحدث عن النقاوة الكيميائية الاشعاعية ولكن يمكن الرجوع الى النسبة المئوية للارتباط بالجسم المضاد أو الى النسبة المئوية للتجلط أو مقدار عمر النصف الحيوي ، وكل تلك التقديرات تحت ظروف معينة .وعلى أية حال فان هذا التعريف المعدل للنقاوة الكيميائية الاشعاعية هو الخلفية الحقيقية لكل هذه التقديرات .

النقاوة الكيميائية Chemical Purity :

من الجدير أن نذكر أنفسنا بحقيقة أن الأوزان أو التركيزات الخفيفة للمستحضرات الصيدلية المشعة التي نحن بصددها منخفضة جداً وعلى ذلك ينشأ عدد من المشاكل المتعلقة بهذه الخاصية.

وتعتبر الطرق المستخدمة في تقدير وقياس النقاوة الكيميائية أو في قياس الشوائب الكيميائية مألوفة بدرجة كافية وتتضمن القياسات بصفة رئيسية التحليل الطيفي لكل من الأشعة تحت الحمراء باستخدام المطياف أو للأشعة فوق البنفسجية وكذا القياس باستخدام جهاز الامتصاص والانبعاث الذري، ولقد سبق ذكر بعض المشاكل التي قد تنشأ عن تحضيرات المواد المشعة على نطاق ضيق (بتركيزات صغيرة) أو قد تنشأ عن قصر فترة عمر النصف الطبيعي للنظائر المشعة المستخدمة هذا بالاضافة الى المتاعب التي تنشأ عن خطر التعرض الاشعاعي أثناء معالجة أو التداول مع تلك العينات المشعة، مثال ذلك فان معدل الجرعة السطحية لقرص نموذجي - حضر من أجل فحص درجة نقاوة المثيونين المرقم بنظير السلنيوم٧٥ L- ^{75}Se -selenomethionine بواسطة جهاز التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء هو ٤٠ راد/ ساعة.

كذلك أيضاً فان حدوث تغيرات مكانية (انحراف) في الخطوط الطيفية للنظائر المشعة يمكن أن يعكس بعض الصعوبات في عملية تفسير أو ترجمة خطوط طيف الأشعة تحت الحمراء بالرغم من الميزة الممكن التحصل عليها من تلك الظاهرة في قياس درجة النشاط النوعي. وتستخدم طرق التحليل الكروماتوجرافي بدرجة محدودة في قياس درجة النقاوة الكيميائية بسبب انخفاض حساسيتها لهذا النوع من القياسات، لكن ربما يغير من هذا الاتجاه ظهور تقدير جهاز الكروماتوجراف السائل ذو الكفاءة العالية.

النقاوة الكيميائية الاشعاعية Radiochemical Purity :

يمكن تقسيم الطرق المستخدمة في تقدير النقاوة الكيميائية الاشعاعية والتي

سبق تعريفها وامتد نطاق هذا التعريف ليشمل المركبات المرقمة بنظائر مشعة غريبة عن ذرات المركب المرقم ـ الى قسمين رئيسيين وهما الطرق الكيميائية والطرق البيولوجية .

جدول يوضح تصنيف الطرق المستخدمة في تقدير النقاوة الكيميائية الاشعاعية

القسم	النوع	أمثلة
I الكيميائي	أ) التحليل الكروماتوجرافي ب) التحليل باستخدام التخفيف النظائري العكسي	١) طريقة التحليل الكروماتوجرافي الورقي ٢) طريقة التحليل الكروماتوجرافي (الطبقة الرقيقة) ٣) طريقة التحليل الكروماتوجرافي الغازي ٤) طريقة التحليل الكروماتوجرافي بالانتقال الكهربي ٥) طريقة التحليل الكروماتوجرافي العمودي
II الحيوي	أ) دراسات خارج جسم الحيوان in vitro ب) دراسات داخل جسم الحيوان in vivo	١) طرق التحليل الانزيمية ٢) طرق تقدير المناعة الاشعاعية ٣) تقدير واختبار قوة الارتباط ١) دراسات حيوانية ٢) دراسات اكلينيكية

الميزتان الرئيسيتان لطرق التحليل الكروماتوجرافي للمركبات الكيميائية الاشعاعية هما (١) الحساسية في تقدير النقاوة الاشعاعية . (٢) سهولة وبساطة الطريقة .

يجب أن تسجل وسائل وطرق التحليل والقياس للمركبات الكيميائية الاشعاعية على كل مركب يراد تحليله. وتعتبر هذه الوسائل ذات اهمية خاصة لمستخدمي المركبات الكيميائية الاشعاعية والمستحضرات الصيدلية المشعة، فسوف تمكن هـذه الطرق من كشف وإختبـار درجـة النقـاوة الكيميـائيـة الاشعاعية للمركب المستخدم والوقوف على حقيقة ما اذا كانت درجة النقاوة للمركب المستخدم موجودة بالصورة المحددة والمرسومة، أو على الأقل بصورة مرضية وكافية.

بالرغم من سهولة كشف الشوائب حتى تلك الموجودة بكميات ضئيلة للغاية فانه يعتبر من الضروري عادة تحديد كمية تلك الشوائب، وتستخدم لهذا الغرض العديد من الطرق المختلفة. وهذه تتضمن طرق التصوير الاشعاعي الذاتي autoradiography وتقطيع ورقة الكروماتوجراف الى أجزاء ثم يجري العد الاشعاعي لتلك الأجزاء بطريقة مناسبة.

وعلى أية حال فانه من الملائم ونظراً لأن الكروماتوجراف لا يتلف فان المسح الاشعاعي هو الأكثر استخداماً في هذا المجال.

وهذا يتم بتحرك كل من الكروماتوجرام والعدّاد الاشعاعي كل في اتجاه الآخر بطريقة متناسبة، ولكن عيب مثل هذه الطرق هو انخفاض الكفاءة الاحصائية للعد الاشعاعي.

العيب الرئيسي لطرق التحليل الكروماتوجرافي يرجع الى عدم التأكد من أن الشوائـب قـد فصلـت عن المركـب الرئيسي. وفي طرق التحليـل الكروماتوجرافي يجب اختيار أنظمة المذيب بعناية وبحذر حيث يلاحظ أن الأنظمة التي يتحرك فيها المركب الأصلي مع جبهة المذيب أو يبقى عند نقطة الأصل تعتبر بصفة خاصة قليلة القيمة. ومع ذلك ومهما اتخذت من احتياطيات فان امكانية التحصل على قيم غير صحيحة (خاطئة) للنقاوة الظـاهريـة سوف تظـل عـاليـة، وذلـك فـيا لو اعتمـد فقـط عـلى الطرق الكروماتوجرافية في تقدير النقاوة الكيميائية الاشعاعية.

وفيما يتعلق بطرق المراقبة التحليلية للمستحضرات الصيدلية المشعة القديمة فتوجد بالتفصيل في دستور المواد الصيدلية أو الأدوية (الاقربازين).

أما فيما يختص بمركبات ومستحضرات التكنيسيوم الجديدة فلا يتوفر حالياً الا الطرق المنشورة فقط.

اختصارات للمستحضرات الصيدلية المشعة بنظير التكنيسيوم^{99m} المختصر

Tc HEDP ^{99m}Tc-Sn-(1-Hydroxy Ethylidene) Diphosphonate

١) تكنيسيوم^{99m} - قصدير - (١ - هيدروكس اثيلين) ثنائي الفوسفونات.

TcPYRO ^{99m}Tc - Sn - pyrophosphate

٢) تكنيسيوم^{99m} - قصدير - بيروفوسفات.

Tc^{99m}Tc - Sn - diethylenetriamine penta acetic acid TcDTPA

٣) تكنيسيوم^{99m} - قصدير - ثنائي اثيلين ثلاثي الأمين - خماسي - حامض الخليك.

TcFeAs ^{99m}Tc - iron ascorbate

٤) تكنيسيوم^{99m} - حديد - اسكوربات.

TcSC ^{99m}Tc - Sulfur colloid (thiosulfate PYRO

٥) تكنيسيوم^{99m} - غروي الكبريت (ثيوكبريتات).

TcHSA ^{99m}Tc - Human serum albumin

٦) تكنيسيوم^{99m} - زلال مصلي آدمي.

TcR

٧) تكنيسيوم مختزل (غير مخلبي) unchelated ومن ثم سوف يتحلل مائياً عند درجات الـ pH المتعادلة.

وفي مجمعات الزلال الآدمي أو الكريات الصغيرة يتم اجراء التوزيع الفسيولوجي عن طريق حقن المركب المنتج في وريد الفئران. وبعد فترة زمنية قدرها ١٥ دقيقة تقتل الفئران ويجري قياس النشاط الاشعاعي في الأعضاء التالية: الكبد ـ الرئتين ـ والأعضاء الأخرى. وبالنسبة للفئران فقد وجد أن نسبة ٨٠٪ من كمية النشاط الاشعاعي يجب أن توجد في الرئة وأقل من ٥٪ في الكبد والطحال.

التعقيم Sterility :

من المفروض في كل المواد الصيدلية القابلة للحقن والمعقمة أن تكون خالية من أية كائنات حية دقيقة،لذلك فانه من اللازم أن تكون المواد الصيدلية الاشعاعية خالية من تلك الكائنات. ولضمان تعقيم أي منتج فيجب أن تستخدم طريقة تعقيم كافية ثم تتبع باختبارات تعقيم كافية للدلالة بدرجة ضمان معقولة على أن المنتج المراد ادخاله الى جسم المريض هو في الحقيقة معقم. وبالاضافة الى ما سبق فان المنتج خلال عملية التعقيم واختبارات العقم يجب أن يحتفظ بحدود نقاوته وفعاليته بحيث يمكن توقع نتائج تشخيصية أو علاجية منتظمة. والعديد من المواد الصيدلية الاشعاعية وخاصة تلك المواد التي تتأثر حرارياً Heat-Labile تمثل مشكلة تكنولوجية أثناء التعقيم ولا تتيح الوقت الكافي لاختبارات العقم. وبالمثل فان المواد الصيدلية الاشعاعية نتيجة لطبيعتها الخاصة كمصدر للاشعاع المؤين، فانها تمثل خطراً اشعاعياً مستمراً طوال عمليات التعقيم ومراحل الاختبار لبرامج ضمان الجودة. وتكون عمليات التعقيم واختباراته للمواد الصيدلية الاشعاعية فرعاً واسعاً من المعرفة والخبرة والتكنولوجيا الدقيقة. فبينما تصف كتب الفارماكوبيا Pharmacopoeia

جدول يوضح أنظمة التحليل الكروماتوجرافي لتقدير النقاوة الكيميائية الاشعاعية

المركب	الحامل المستخدم	المذيب	المركب	رتبة الازاحة أو قيم RF
TcHSA	ورق واتمان رقم ١	محلول ملحي	TcR TcO_4^- TcHSA	٠ر٠٠ ٠ر٧٥ ٠ر٩ ١ر٠٠
TcDTPA	ورق واتمان رقم ١	محلول ملحي	TcR TcO_4^- TcDTPA	٠ر٠٠ ٠ر٧٥ ٠ر٩ - ١ر٠٠
Tc DTPA	سيفادكس G 25 (٠ر٩ × ٣٠ سم)	محلول ملحي (٠ر٩٪)	TcR TcO_4^- TcDTPA	مدمص المزاح ثانياً المزاح أولا
TcHEDP	سيفادكس	محلول ملحي (٠ر٩٪)	TcHEDP TcO_4^- TcR	المزاح أولا المزاح ثانياً مدمص
TcHSA	سيفادكس G 50 (٠ر٩ × ١٥ سم)	محلول ملحي	TcR TcO_4^- TcHSA	مدمص المزاح ثانياً

جدول يوضح أنظمة التحليل الكروماتوجرافي
لتقدير النقاوة الكيميائية الاشعاعية

المركب	الحامل المستخدم	المذيب	المركب	رتبة الازاحة أو قيم RF
TcFeAs	سيفادكس G 25 (٢٠ × ٥ر١ سم)	–	Tc TcO_4^- Tc Hyd	المزاح أولا المزاح ثانياً مدمص
TcSC	واتمان رقم ٣	حامض يدكل (٣ر٠ مولر)	Tc Sc TcO_4^- Tc (IV)	٠٠ر٠ ٦٦ر٠ ٨٥ر٠
جلوكونات Tc -	بيو - جيل P-10	محلول ملحي (٩ر٠٪)	جلوكونات Tc TcO_4^- TcR	المزاح أولا المزاح ثانياً مدمص
Tc PYRO	بيو - جيل P-10	محلول ملحي (٩ر٠٪)	Tc PYRO TcO_4^- TcR	المزاح أولا المزاح ثانياً مدمص
Tc	سيفادكس G 50	محلول ملحي (٩ر٠٪)	Tc PYRO TcO_4^- Tc Hyd	المزاح أولا المزاح ثانياً مدمص

عمليات التعقيم والاختبارات بالتفصيل فان هناك اعتبارات اضافية يجب أن تُراعى بالنسبة للمواد الصيدلية الاشعاعية وهي :

١ - نصف الحياة الفزيائي القصير في الغالب يحدد الوقت اللازم للاختبارات .
٢ - الأحجام المتوفرة محدودة .
٣ - وجود خطر الاشعاع المصاحب .
٤ - الثبات الكيميائي الاشعاعي مشكلة اضافية .

وهكذا فان الاحتياجات الرسمية لتحضير مواد صيدلية اشعاعية معقمة تسمح بالمرور المبكر لمثل هذه المنتجات بشرط توضيح طريقة مرضية للتعقيم واتمام جميع الاختبارات بنجاح . اضف الى ذلك فان طريقة اضافية لاختبار العقم يمكن أن تستخدم لتوضيح أن هذا المنتج معقم بشرط أن النتائج التي تم الحصول عليها ذات ضمان كاف ويعتمد عليه .

طرق التعقيم :

هناك خمس طرق رسمية معروفة للتعقيم ، التعقيم النهائي للمنتج بالبخار هي الطريقة المختارة للمنتجات ذات الثبات الحراري ومن حيث أن العملية تعتمد على وجود الرطوبة ودرجة الحرارة فمن الطبيعي أن تطبق على السوائل المائية وتحتاج الى ازالة الهواء من الاتوكلاف قبل ادخال البخار وبصفة عامة فانه يتم تشغيل الاتوكلاف عند درجة ١٢١ م لمدة ٢٠ دقيقة وتقاس بواسطة ترمومتر يوضع في مسار خروج البخار . ووقت التعريض لضمان منتج معقم يختلف حجم المنتج وحجم الاناء الحاوي وتحميل الاتوكلاف ولهذا فانه من الواجب أن تكون الطريقة المستخدمة قد حددت بأسلوب حسن وتختبر الطريقة دورياً بكواشف حيوية .

والكواشف الحيوية توضح بطريقة ايجابية فعالية عملية التعقيم وهناك مزارع مختارة يمكن اضافتها الى احدى وحدات المنتج المراد تعقيمه أو اقراص

أو أشرطة من ورق الترشيح تضاف الى الوحدات المراد تعقيمها .

وغالباً ما تستخدم البكتريا العضوية ستيارثرموفيلس B-Stearothermo-phulus في مزرعة من ١٠٠٫٠٠٠ جرثومة ككاشف حيوي لاختبار فعالية التعقيم البخاري ويفضل الادخال المباشر للجراثيم الى الوحدة المراد اختبارها حيث أن بعض المنتجات لا تمتص الرطوبة .

وهناك طريقة التعقيم بالحرارة الجافة وهي تستخدم عموماً في المنتجات الزجاجية والمعدنية ومع الزيوت والمساحيق ذات الثبات الحراري وهي تحتاج الى درجة حرارة كبيرة تصل الى حوالي ١٦٠ - ١٧٠°م وفترة تعريض من ساعتين الى ٤ ساعات ويتم ذلك من خلال أفران خاصة ذات دورة هواء ساخن ويعيب هذه الطريقة أن التيارات غير المنتظمة داخل الفرن لا تسمح بتوزيع حراري متساو داخله . ومن المهم أن تحدد الفعالية التعقيمية للفرن بواسطة ازدواجات حرارية thermocouples توضع في مواقع محددة بالفرن . وكما في حالة التعقيم البخاري فان هذه الطريقة لا يمكن استخدامها مع المنتجات المتغيرة حرارياً .

وهناك التعقيم بالترشيح وهي طريقة غالباً ما تستخدم للمواد الصيدلية الاشعاعية وتعتمد هذه الطريقة على امتصاص البكتريا والتخلص من البكتريا بواسطة أوساط مرشحة ولهذه الطريقة الميزة الاضافية لتنقية المنتج وصلاحيتها للاستخدام مع المنتجات المتغيرة حرارياً أما عيوبها فتتمثل في تكلفتها المرتفعة نسبياً ويعوزها الضمان بأن المنتج الذي تم ترشيحه هو في الحقيقة معقم . وتحتاج عملية التعقيم بالترشيح الى تقنية (ظروف) معقمة خلال مراحل التجهيز النهائي للمنتج .

وبصفة عامة فان غشاء من استرالسليلوز ذات تثقيب ٢٢ر٠ميللي ميكرون يستخدم في الترشيح التعقيمي الا أن مرشحات ذات تثقيب يصل الى ٤٥ر٠

ميللي ميكرون ثبتت صلاحيتها لتجهيز منتج معقم فنادراً ما تكون البكتريا الخضرية ذات قطر يقل عن ١ ميللي ميكرون في حين أن الجراثيم spores عادة ما يكون قطرها ٥ر٠ ميللي ميكرون. وعملياً فإن وعاء الاستقبال وماسك المرشح والمنظم adapter يتم تعقيمها مسبقاً بالبخار أو الغاز ويتم تمرير السائل المراد تعقيمه خلال المرشح تحت ضغط موجب من الطرف غير المعقم من المرشح أو باستخدام التفريغ الهوائي من الناحية المعقمة منه.

وهكذا فان المنتج المرشح يكون معقماً خالياً من أية مواد يمكن رؤيتها اضف الى ذلك أن تركيب المنتج المرشح لا يتغير كثيراً بالعوامل البيئية.

اختبار التعقيم:

الطريقة:

التفاصيل الاجرائية للاختبارات الرسمية للتعقيم موصوفة في كتب الصيدلانيات وعموماً فان الاختبار يستخدم سائل الثيوجليكولات ومهضوم كازين وفول الصويا soybean -casein digest and fluid thiologycollate وقد اختير كوسط لنمو البكتريا المرئية والفطريات والخمائر والجراثيم التي يمكن أن تتواجد في منتج صيدلي معقم.

ومن الواجب أن تكون بيئة الاختبار خالية من أية أحياء دقيقة منقولة عن طريق الهواء.وفي الحالات المثالية يجب أن تكون في حجرة هواء نقي من الدرجة ١٠٠" والمراقبة الميكروبيولوجية لمنطقة اختبار التعقيم عن طريق أطباق الآجار المفتوحة أو impinger air sampler . ويجب أن تكون هناك قاعدة منتظمة للمراقبة الداخلية وبالاضافة الى ذلك فانه ينصح بتحديد دخول الاشخاص.

اعتبارات إحصائية:

كما في معظم عمليات الأبحاث البيولوجية فان درجة الدقة تعتمد بصفة

مطلقة على الشكل الاحصائي فالحصول على درجة عالية من ضمان الجودة لمستحضر دوائي يحتاج الى دقة أعلى من ٩٥٪ . ولهذا السبب فان الكميات المصنعة فوق ٢٠٠ وحدة تحتاج الى عينات ذات أحجام من ١٠ وحدات لاختبار التعقيم وفي حالات الكميات المنتجة كعينات فان ١٠٪ من هذه الكميات يجب أن تختبر ومن الواضح أن اختبارات التعقيم هي عملية هدمية ولهذا فمن الواجب تحضير كميات زائدة حتى أن وحدات المنتج النهائية توفر بعض الوحدات من أجل اختبارات التعقيم .

وفي حالة المستحضرات الصيدلية الاشعاعية حيث يكون امداد المواد محدوداً للغاية ومكلف جداً أو صعب التصنيع تقنياً فان اختبارات التعقيم ربما تكون محدودة بعينات احصائية صغيرة للغاية وفي هذه الحالة الخاصة فان مراقبة العملية والاختبار المسبق للنظام والتبريد الجاري تكون أساسية للتكامل التعقيمي للمستحضر النهائي .

اختبار المواد المسببة للحمى (ارتفاع درجة الحرارة) :

ينشأ التلوث بالمواد المسببة للحمى اما عن طريق بكتيريا حية أو ميتة مقاومة للحرارة نسبياً . ولهذا فان هذه المواد تتواجد في ماء الصنبور وسوائل أخرى كثيرة وتسبب قوة وثبات ubiquity السم الداخلي endotoxin وهذا الأخير هو أهم المواد المسببة للحمى والتي تراعيها صناعة الدواء .

والمواد التي يتم ادخالها عن غير طريق الفم يجب أن تختبر بالنسبة لوجود مواد مسببة للحمى قبل الاستقبال الآدمي . والتوكسين الداخلي هو سبب التلوث الحمى في أغلب الحالات ان لم يكن في جميعها فالمواد المسببة للحمى في بعض المنتجات البيولوجية يمكن أن تكون بسبب عوامل أخرى مثل وجود مواد حاثة للمناعة antigenic substance عالية من مواد بروتينية أو غروية والطبيعة الخاصة للمستحضرات الصيدلية الاشعاعية من حيث قصر الحياة

تتطلب التأكيد على حسن اختبار الطرق المناسبة من أجل ازالة الأحياء الدقيقة ومنتجاتها الثانوية وهناك اجراءات وقائية ضد مثل هذا التلوث بالاضافة الى الضمانات الأخرى الناشئة عن اختبارات التعقيم والمواد المسببة للحمى. واختبارات المواد المسببة للحمى بالنسبة للمستحضرات الصيدلية الاشاعية والمستحضرات المستخدمة في تكوينها سوف تكون محور الحديث في هذاالجزء.

يتطلب اختبار الأرنب للمواد المسببة للحمى Rabbit Pyrogen Test ملاحظة درجة الحرارة الشرجية لثلاثة أو أكثر من الأرانب اليافعة والصحية والمدربة لمدة ثلاث ساعات بعد حقن عينة الاختبار وريدياً. ويكون هذا الاختبار ايجابياً اذا ما ارتفعت درجة الحرارة في أحد الأرانب بزيادة ٦ر٠ م أو أكثر فوق درجة حرارته القاعدية أو اذا ما كان مجموع الزيادات في ثلاث درجات للحرارة يفوق ٤ر١°م. واعادة الاختبار كنتيجة ايجابية يتطلب خمسة أرانب أخرى اضافية وبالتالي تبنى النتيجة النهائية على استجابات ثمانية من الأرانب والاستجابة الحمية الدالة على وجود توكسين داخلي تظهر في خلال ٣٠ الى ٩٠ ثانية بعد الحقن.

واختبار المواد المسببة للحمى الناجح يتطلب تسهيلات اختبارية تشمل التحكم في درجة الحرارة والرطوبة والضوء والضوضاء ويمكن تسجيل درجة الحرارة عن طريق ترمومتر طبي دقيق ولكن الاختبارات التي تجري على كميات كبيرة تم عن طريق استخدام مجسات حرارية وأجهزة تعمل أتوماتيكاً لتسجيل الحرارة بصفة مستمرة والتكلفة الخاصة بصيانة قدرة اختبارات المواد المسببة للحمى تتطلب معامل صغيرة للقيام بالخدمات للمعامل التجارية للاختبارات.

الصيدلانيات الاشعاعية:

من الواجب اختبار مكونات المستحضرات مسبقاً كما ذكر في حالة الأدوية

وبالرغم من ذلك فان المواد الصيدلية الاشعاعية التي تتميز بقصر الحياة لا يتم اختبارها بطريقة مناسبة بواسطة الاختبار المعتمد بسبب ضيق الوقت وحجم العينة والتعرض الاشعاعي للأشخاص العاملين والنفايات المشعة وفي حالة جميع المواد التي يتم حقنها في سائل النخاع الشوكي فان الاختبار لا يكون حساساً بدرجة كافية .

وهناك اعتبارات خاصة لاختبار المواد الصيدلية الاشعاعية حمياً وهذه تشمل جرعة الاختبار وفترة الاختبار وأخذ العينة . ويجب أن تتناسب جرعة الاختبار مع النشاط الاشعاعي المطلوب للمريض في وقت انتهاء فعالية المستحضر ، بمعنى أن الجرعة الخاصة بالأرنب يجب أن تتناسب مع جرعة الانسان على أساس الحجم بالنسبة للوزن . كما ان الاختبارات الرجعية لعينات مخزنة هي طريقة مقبولة للأدوية ذات الحياة القصيرة ، فمثلا يمكن تخزين السوائل لمدة تتراوح بين يوم وخمسة أيام . وتختبر عند ١ مل/كجم في الأرانب للوصول الى مستويات اشعاعية أقل . ان مثل هذه التعديلات لعمليات تصنيع جيدة يمكن اجراؤها فقط بعد ضمان خلو طريقة التحضير من المواد المسببة للحمى . ويسمح ببعض الانحرافات (التجاوزات) في عمليات التصنيع الجيدة GMP في الاختبار الحمى للمواد الصيدلية الاشعاعية قصيرة الحياة وذات التركيز النشاطي العالي . وعلى الرغم من ذلك فانه لا يمكن تبرير التعرض الاشعاعي الوظيفي الذي يجب أن يتحمله الاشخاص المسؤولون عن مراقبة الجودة عند الاختبار الحمى للأدوية ذات النشاط الاشعاعي العالي عندما يكون هناك تاريخ معروف لنتائج سلبية للاختبارات الحمية لمنتج معين .

أضف الى ذلك التأثير البيولوجي السيء الذي يحدث للأرانب نتيجة التعرض المتتابع لاشعاع عال فان مستويات الجرعة الممتصة تزيد من احتمالات الاستجابات السالبة غير الحقيقية في الحيوانات المعرضة لزمن طويل . ان

اختبار ليميولس Limulus Test لمعظم المواد الصيدلية الاشعاعية يقدم بديلا صالحاً للتعرض الاشعاعي العالي للأشخاص وللاختبارات الحمية الرجعية.

الاختبار الحمي غير الحياتي (في الأنابيب):

ان اختبار ليميولس هو اختبار حديث ومقياس هام لدرجة الجودة للأدوية المحقونة حيث انه أكثر الطرق حساسية وملاءمة للكشف عن التوكسين الداخلي للبكتيريا (المادة المسببة للحمى) سواء الموجودة في صورة حرة طليقة أو المرتبطة بالجدار الخلوي للبكتيريا سالبة الجرام، فقد لوحظ أن (LAL) Limulus Amebocyte Lysate يتفاعل مع التوكسين الداخلي حتى أن الخليط يزداد في اللزوجة والعتامة لتتكون مادة هلامية وذلك تحت الشروط المناسبة من pH (الحمضية) ودرجة الحرارة وقوة التركيز. ويحضر كاشف من دم Limulus Polyphemus أو horseshoe crab حيوان قشري بحري متواجد في الشاطىء الشرقي لأميركا الشمالية.

ويجري الاختبار تحت ظروف تعقيمية بخلط أجزاء متساوية تتراوح بين ٠٥ر٠ الى ٢ر٠ ملليلتر من سائل الاختبار وسائل LAL أو باعادة تكوين وحدات جافة من LAL باضافتها الى سائل الاختبار ثم وضع الخليط في حضانة فورية لمدة ساعة في هدوء تام فتتكون مادة هلامية معتمة متماسكة وهذا يمثل تفاعلا ايجابياً.

اختبارات بيولوجية أخرى:

مثل أي مادة دوائية فانه يجري اختبار أمان لقياس سمية كل كمية من هذه المادة. ولمناقشة اختبار الآمان فانه يتم تقسيم المواد الصيدلية الاشعاعية المحقونة وريدياً الى أربعة أقسام عامة:

١ ـ تركيبات محضرة لنيوكليدات طويلة الحياة.

٢ - عبّوات صيدلية اشعاعية مرقمة بنظير Tc.
٣ - مولدات (^{99}Tc - ^{99}Mo).
٤ - تركيبات لمستحضرات من النيوكليدات قصيرة الحياة.

ولا تتمثل التركيبات المحضرة للنوكليدات طويلة الحياة أية مشاكل خاصة فيما عدا احتمال التسمم الاشعاعي الذي نوقش فيما قبل والمواد الصيدلية الاشعاعية المرقمة بنظائر I^{131}, Hg^{203}, Se^{75}, I^{125}، Cr^{51} يمكن اختبار الأمان لها باستخدام الطرق الروتينية. أما اختبار الأمان للمستحضرات المرقمة بنظير ـ Tc فانها تحتاج الى تحضير عينات ممثلة بنفس الطريقة التي تتبع في المختبر الطبي الاشعاعي. وحيث أن الاختبارات تجري من أجل تقييم أمان مكونات العبوة وليس أمان سائل $^{99m}TcO_4$ ، فان عينات الاختبار عادة ما تحضر مع سائل ملحي غير مرقم. وكل مجموعة من نوع العبوة المرقمة بالتكنيسيوم (مثل الكبريت الغروي، DTPA ، والفوسفات والفوسفونات، والكريات الصغيرة وكذا التجمعات الكبيرة من الالبومين)، يجب اختبارها بواسطة هذه الطرق العامة. ويمكن اجراء اختبارات الأمان هذه للمواد الصيدلية المشعة طويلة العمر قبل تقديم هذه المواد للتوزيع ولكن ذلك يكون غير ممكن مع مولدات ^{99m}Tc ـ ^{99}Mo والمواد الصيدلية المشعة قصيرة الحياة ولكن قصر نصف الحياة للمولدات والنظائر المشعة مثل In^{111}، Ga^{68}، F^{18}، Hg^{197}، I^{123}، فانه من غير الممكن اجراء اختبار الأمان ذات معنى لهذه المواد الصيدلية الاشعاعية قبل توزيعها للاستخدام الاكلينيكي، وفي هذه الحالة فان الملاحظات التي تم أثناء الاختبار الحمي يمكن اعتبارها كاختبار أمان خاص ومختصر وخاصة مع جرعة تفوق على الأقل الجرعة الآدمية القصوى عشر مرات للحقن في الأرنب.

---

*m = meta stable (شبه مستقر)

الباب الرابع

الاشعاع المؤين
Ionizing Radiation

يمكن تقسيم استخدامات المصادر الاشعاعية النظائرية الكبيرة الى ثلاثة مجاميع كبيرة:

(١) في مجال صناعة الأغذية (وتشمل أيضاً الاستخدام في مجال الزراعة).

(٢) في مجال الصناعة.

(٣) في مجال التعقيم.

ان مواصفات المصدر الاشعاعي المتعدد الأغراض تختلف عن مواصفات مصدر اشعاعي مخصص لغرض واحد. ومن أجل هذا السبب فان استخدام الاشعاع المؤين سنتناوله من زاوية الغرض الأساسي لهذا الاستخدام.

٤ ـ ١: الاستخدام في مجال الصناعات الغذائية (الاطعمة) وسوف يشمل ذلك الزراعة:

ان الترخيص القانوني بالموافقة على استعمال الأغذية المشعة بكثرة في مختلف الدول هو العامل المحدد لمدى انتشار استخدام الاشعاع في مجال صناعة الأغذية على نطاق تجاري.

ان موقف الجهات الوطنية المسؤولة عن الصحة من قضية الأغذية المشععة قد تأثر بصفة قاطعة بقرار اللجنة المشتركة لكل من منظمة الأغذية، والزراعة، والوكالة الدولية للطاقة الذرية، ومنظمة الصحة العالمية فيما يتعلق بالأغذية

المشععة. ولقد كان المؤتمر الثالث الذي عقد في سبتمبر ١٩٧٦ في الواقع أمراً مشجعاً. ولقد حاز الآن استخدام القمح المشعع (حتى ١٠٠٠ كيلوراد) والبطاطس المشععة (حتى ١٥ كيلوراد) على موافقة تامة غير مشروطة. ولقد وضعت في نفس المجموعة السابقة ثلاثة بنود أخرى وهي ثمار البابايا (حتى ١٠٠ كيلوراد)، وثمار الفراولة (حتى ٣٠٠ كيلوراد)، ولحم الدجاج (حتى ٧٠٠ كيلوراد)، بينما حاز استخدام ثمار البصل المشعع (حتى ١٥ كيلوراد) والأرز (حتى ١٠٠ كيلوراد) وكذا كل من سمك القد الطازج والسمك الأحمر الطازج (حتى ٢٢٠ كيلوراد) على موافقة مشروطة. وهذا يعني ان المجموعة الثانية لا زالت بحاجة الى اختبارات اضافية. كما اعتبرت قرارات اللجنة المشتركة المذكورة أن تقييم الدراسات والبحوث فيما يتعلق بتشعيع نوع من الفطريات، عش الغراب mushrooms، لم تكن كافية وغير كاملة في الوقت الراهن.

وربما كان الأكثر أهمية من اجازة استخدام هذه الأطعمة المشععة هو تعبير اللجنة المذكورة بوضوح وبجزم عن المفهوم العام لعملية تشعيع الأغذية حين ذكرت في تقريرها ما نصه: «أن التشعيع هو عملية طبيعية لمعاملة الأغذية وهو في هذا يشبه طريقة تسخين أو تجميد الأغذية من أجل الحفظ».

ولقد أكدت اللجنة على أن الدراسات المتعلقة بتغذية الكائنات الحية الدقيقة وكذلك المتعلقة بالتأثيرات السمية ـ لتعيين مدى سلامة وأمان استخدام الأغذية المشععة ـ يجب أن تُبنى على أساس الفكرة العامة القائلة بأن تشعيع الأغذية هو نوع من المعاملة أو المعالجة. كما ان اللجنة تعتبر أن طريقة دراسة وتناول موضوع تقييم التأثيرات السمومية للأغذية المشععة المأمونة الجانب يجب أن تختلف عن تلك المستخدمة في تقييم ضمانات السلامة والآمان للمواد الكيميائية.

ان تقرير اللجنة المشتركة لتشعيع الأغذية عام ١٩٧٦ قد أشار الى نقطة تحول من خلال اقرار واعتماد الدراسات الكيماوية كأساس لتقييم السلامة

والامان في استخدام الأغذية المشععة اذ ذكرت كما يلي : ان تحليل نواتج الانحلال الاشعاعي التي تمت قد أزالت الى حد كبير الكثير من الشك السابق فيما يتعلق بمدى صحة الاستنتاج والاستقراء من النتائج التي أجريت على نوع من الغذاء وانسحاب تلك النتائج على نوع آخر من أجل الوصول الى تقييم النتائج وعواقب التشعيع . ان المبادئ العامة للتفاعلات الكيماوية الاشعاعية كما اتضحت من خلال الدراسات التحليلية سوف تقلل الى حد كبير مدى الحاجة لاجراء اختبارات التأثيرات السمية وسوف تسهل من طرفي الاختبار اللازمة .

ان الموقف الايجابي للجنة المشتركة للأغذية المشععة (J E C F I) تجاه استخدام الأغذية المشععة واهتمامها النشط في ايجاد قواعد وأسس جديدة أكثر اعتدالا من اجل تقييم السلامة والآمان ـ قد أدت بطريقة قاطعة الى التقدم الدولي في هذا المجال .

بعد هذا المؤتمر الدولي الهام للجنة المشتركة للأغذية المشععة (JECFI) والذي عقد في عام ١٩٧٦ ، فان كلا من منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) ومنظمة الصحة العالمية قد أعدتا مخطوطة غذائية وذلك بوضع مقياس عام عن الغذاء المشع ، كما قاموا بوضع مجموعة القواعد والمبادئ المتعلقة بالتدريب على تشغيل أجهزة ومعدات التشعيع المستخدمة في معاملة الأغذية . وفيما يتعلق بهذا الموضوع ،فان الوكالة في أبريل من عام ١٩٧٨ قد أقرت الدراسات العلمية المقترحة في هذا الشأن وأرسلت نسخاً منها الى حكومات الدول الأعضاء للموافقة عليها .

وعلى الأقل فقد أبدت السلطات الوطنية المسؤولة عن الصحة في بعض البلدان نفس الموقف الايجابي تجاه الأغذية المشععة الذي أبدته اللجنة المشتركة للأغذية المشععة وكذلك اتخذت نفس الموقف كل من منظمة الأغذية والزراعة ومنظمة الصحة العالمية فيما يتعلق بمجموعة مخطوطات التغذية التي وضعاها .

ولقد رخصت السلطات الالمانية في عام ١٩٧٦ باستخدام كميات غير

محدودة من لحم الدجاج المشعع (حتى ٣٠٠ كيلوراد) وكميات محدودة من سمك القريدس وكذا شرائح السمك (حتى ١٠٠ كيلوراد).

أما جنوب أفريقيا فقد أعطت عام ١٩٧٧ موافقتها على استخدام كميات غير محدودة من البطاطس المعاملة بالاشعاع (حتى ٢٤ كيلوراد)، وكميات محدودة من ثمار المانجو وثمار الببايا (حتى ١٢٥ كيلوراد) والموز المجفف (٥٠ كيلوراد) وثمار الإجاص (١٠ كيلوراد). ومن المتوقع قريباً أيضاً أن يرخص بطرح كميات محدودة للبيع من ثمار المانجو وثمار الببايا المعاملة بالاشعاع (١٥٠ كيلوراد)، وكذلك ثمار الفراولة المشععة (٤٠٠ كيلوراد). كما ان فرنسا في عام ١٩٧٧ رخصت بتشعيع كميات غير محدودة من البصل والثوم والكرات الاندلسي shallots (حتى ١٥ كيلوراد). أما في تشيكوسلوفاكيا فقد طرحت في الأسواق بصفة تجريبية عدة أطنان من البطاطس المعاملة بالاشعاع (١٠ كيلوراد) والبصل (٨ كيلوراد) والفطر (٢٠٠ كيلوراد)، أما في المجر فقد طرحت أيضاً كميات من البصل المعامل بالاشعاع (٥ كيلوراد). وفي شيلي طرحت أيضاً في الأسواق بصفة تجريبية كميات محدودة من البطاطس المعامل بالاشعاع (١٠ كيلوراد).

ولقد استخدمت أيضاً على نطاق تجاري كميات كبيرة من التوابل المعاملة بالاشعاع في كل من المجر وهولندا. ولقد أدت الدلائل الحديثة عن التأثيرات والتغييرات الوراثية التي تحدث نتيجة المعاملة الكيماوية للأغذية المذكورة بأكسيد الاثيلين ـ الى الاتجاه المتزايد لاستخدام عمليات التشعيع في حفظ التوابل وأغذية مجففة أخرى في تلك الدول وبلدان أخرى.

ان تطبيقات الاشعاع في المجالات الزراعية يمكن أن تكون مفيدة في مجالات تغذية الحيوان، وإطالة فترة حفظ الفواكه ووقاية النبات إما من خلال التشعيع المباشر للحشرات (١٥٫٠٠٠ - ٢٥٫٠٠٠٠ راد) بهدف تعقيم الحشرات أو بواسطة تشعيع المحاصيل عند نفس المستوى من الجرعة الاشعاعية

عندما تكون مخازن الحبوب في وضع يسمح بتجنب غزو الحشرات باعداد كبيرة .

ولقد تأكد مدى فعالية وحيوية الدراسات والبحوث التي أجريت في مجال تغذية الحيوان من خلال الدراسات التي تمت في اطار المشروع الدولي الذي اشتركت فيه كل من الهيئات الثلاثة :

OECD ، الوكالة الدولية للطاقة الذرية ، منظمة الأغذية والزراعة . والجدول التالي يوضح ذلك .

كما شملت التطبيقات المباشرة لتشعيع الأغذية ، الخضر ، واللحم ، والسمك وذلك بهدف اطالة فترة التخزين .

عند دراسة مدى ملاءمة جهاز لتشعيع الأغذية يجب النظر بعين الاعتبار الى حساب العائد الاقتصادي مقارنة بتكاليف ثمن الجهاز . ولتقدير التكاليف المحتملة فانه من الضروري أولا تعريف وتحليل العوامل التي تؤثر في تلك التكاليف . وهذه العوامل سوف تتضمن ما يلي :

(١) خصائص المنتج : تشمل الحجم ، والشكل ، والكثافة ، والجرعة والحرارة ، احتياجات التعبئة والتغليف .

(٢) خصائص الامكانيات والتسهيلات المتاحة : تشمل الموقع الجغرافي ، درجة التخصص أو التكامل ، الطاقة الانتاجية للمشروع (كفاءة الاداء في الساعة) ، مدى الانتفاع والاستخدام للمصدر (عدد ساعات التشغيل في السنة) .

(٣) اعتبارات تتعلق بالمصدر : تتضمن نوع المصدر ، وتكاليف التركيب ، ومدى فعالية الاستخدام للمصدر ، مدى الثقة في المصدر ، صيانة المصدر (وخاصة في حالة المعجلات) ، احتياجات المصدر واعادة تقوية المصدر بالنظائر المشعة مستقبلا ، طريقة الاستهلاك للمصدر (نقص قوة المصدر) .

(جدول يوضح بحوث تغذية الحيوان التي تمت في اطار المشروع الدولي)

(الغذاء المستخدم والجرعة الاشعاعية)	النسبة المئوية في العليقة	طبيعة الدراسة	جهة التعاقد
دقيق القمح ٧٥ كيلوراد ± ٥٪	ـ ٧٠٪ (مخبوز على هيئة بسكويت)	ـ تغذية لمدة عام واحد ودراسات عن التكاثر في الفئران، تشوهات الاجنة، واختبار انتاج الطفرات.	ـ مركز بحوث هانتجدون ـ المملكة المتحدة
	ـ نفس النسبة	ـ اختبار انتاج طفرات في الفئران.	ـ مركز بحوث هانتنجدون ـ المملكة المتحدة
	ـ نفس النسبة	ـ اختبار انتاج طفرات في الفئران.	ـ مركز بحوث علم الحياة ـ ازيكس ـ المملكة المتحدة.
البطاطس ٨ر٥ ـ ١٥ر كيلوراد	ـ ٣٥٪ (مقشرة، مسلوقة)	ـ تغذية طول فترة الحياة، ودراسات عن التكاثر في الفئران، والتشوهات الخلقية، واختبار انتاج الطفرات.	ـ مركز بحوث هانتنجدون ـ بريطانيا
	ـ نفس النسبة	ـ تغذية طول فترة الحياة، دراسات عن التكاثر في الفئران.	ـ CREDO، سانت جرمانسور ـ أربرست ـ فرنسا.
	—	ـ مستخلص كحولي للبطاطس وتُعطى للفئران بواسطة التغذية الأنبوبية، اختبار انتاج الطفرات.	ـ معامل البحوث الحيوية ـ كيوبيك ـ كندا

سمك طازج خليط من سمك القد والأحمر بنسبة ١:١ ١٧٥ - ٣٤٠ كيلوراد	- ٤٥٪ (مسلوق)	- تغذية طول فترة الحياة ودراسات تكاثر على الفئران، تشوهات خلقية، اختبارات انتاج طفرات.	- هانتنجدون، بلتيمور - الولايات المتحدة.
	- نفس النسبة	- تغذية طول فترة الحياة ودراسات تكاثر على الفئران، تشوهات خلقية، اختبارات انتاج طفرات.	- معامل اختبارات الحيوية الصناعية، نورث بروك - الينوي - أمريكا.
سمك الماكريل ٢٠٠ - ٢٦٠ كيلوراد	- نفس النسبة	- ٩٠ يوم تغذية، ودراسات تكاثر على الفئران - واختبارات انتاج طفرات.	- BARC - بومباي - الهند
سمك طازج البلايس (سمك مفلطح) ١٧٥ - ٣٤٠ كيلوراد	- ٤٥٪ (مسلوق)	- ٩٠ يوم تغذية، ودراسات تكاثر على الفئران، واختبارات انتاج طفرات.	- مركز بحوث انفرسك الدولي - ادنبورج - المملكة المتحدة.
الفلاوندر المذنب الأصفر (نوع من السمك المفلطح) - ١٧٥ - ٣٤٠ كيلوراد	- نفس النسبة	- نفس المعاملة والدراسة	- شركة معامل كانون - ريدنج - بنسلفانيا الولايات المتحدة الاميركية
أرز ٤٦ - ٥٥ كيلوراد	- ٦٠٪ وزن جاف (مسلوق)	- تغذية لمدة سنة واحدة، دراسات تكاثر، اختبارات تشوهات أجنة، وانتاج الطفرات.	- IFREB - سانت جرمانسور - أربرست فرنسا.

(٤) نوع التشغيل: ان الاختلافات في شكل المنتجات المرادتشعيعها، سوف يؤثر على تكاليف التشعيع الى درجة أن فعالية مصدر التشعيع ربما تتأثر من ناحية التصميم أو التخطيط لكي يواجه المشاكل الخاصة المتعلقة بحجم أو شكل الصناديق التي ستشع. وبصفة عامة، إن عدم الالتزام بمقاييس الشكل أو الحجم أو الكثافة سوف يقلل من فعالية المصدر ويزيد من التكاليف.

يتوقف مقدار جرعة التشعيع على نوع المادة المراد تشعيعها وكذلك حسب الغرض الذي يجري من أجله التشعيع. وبزيادة جرعة التشعيع فان وحدة التكلفة سوف تزداد تبعاً لذلك بدرجة ملموسة وذلك عند المستويات العالية من جرعات التشعيع وسوف تقل وحدة التكلفة بدرجة كبيرة عند مستوى الجرعات المنخفضة.

وسوف تتباين هذه التكاليف الى حد ما، معتمدة في ذلك على درجة التفاوت المسموح بها في الجرعة المحددة. ففي حالة التفاوت الصغير يجب بذل اهتمام وحرص أكبر في عمليات المراقبة والتحكم للتشغيل مع توقع زيادات محتملة في تكاليف أجهزة التحكم ومراقبة التشغيل.

وتحتاج بعض المنتجات الغذائية وخاصة لحم البقر الى اجراء عملية التعقيم تحت ظروف درجة التجمد والتي تتراوح (من -٤٥° م حتى - ٥° م) كوسيلة لايقاف أو تقليل التغيرات الغير الملائمة في خصائص المذاق، هذا بالاضافة الى أن استخدام التبريد في درجات الحرارة المنخفضة أثناء عملية التشعيع لمنتجات اللحوم سوف يحافظ على محتواها من الفيتامينات. يعتبر الموقع الجغرافي من أهم العوامل الهامة التي يجب مراعاتها عند انشاء وتوفير الامكانيات الخاصة بمصدر التشعيع، حيث أن موسمية الانتاج ستكون نتيجته وجود فترات زمنية خلال السنة يكون مصدر التشعيع فيها عاطلا عن العمل. ومن ثم يجب أن يوضع في الاعتبار اختيار الموقع المناسب بحيث يمكن توفير الظروف لاستخدامه في أغراض تشعيعية لمواد أخرى بخلاف الناتج الغذائي

المخصص له المصدر. كذا تكاليف نقل المنتج الغذائي المراد تشعيعه الى مكان مصدر التشعيع ربما يعيق الجدوى الاقتصادية للمشروع. وهذه حقيقة واضحة بصفة خاصة في حالات المواد الضخمة أو التي يصعب نقلها أو في حالة المنتجات القابلة للتلف أو الفساد بسبب النقل. والمصدر الاشعاعي المتحرك ربما يكون الحل لتلك المشكلة المتعلقة بموسمية الانتاج حيث ينقل المصدر الى موقع آخر بعد انتهاء عملية التشعيع المستهدفة للاستفادة به في غرض آخر.

يؤثر الموقع الجغرافي في تكاليف عملية التشعيع شأنه في ذلك شأن أية عملية تصنيع أخرى بالاضافة الى العوامل الأخرى كالقرب من المواد الخام والقرب من الأسواق وتكاليف النقل للأسواق، والتباين في الأماكن المحلية المختلفة، والبناء وأسعاره والأيدي العاملة وتكاليف الاستخدام والعمل، والاختلافات في الضرائب المحلية من مكان لآخر كما ان هناك عدة عوامل أخرى هامة يجب أخذها في الاعتبار مثل: معدلات انتاج الكهرباء واستهلاكها وأسعارها وخاصة في حالة استخدام معجل خطي الكتروني، ومدى القرب من مصدر للنتروجين السائل حينما تكون هناك ضرورة لأن يتم التعقيم للمنتجات تحت درجة حرارة تبريد منخفضة.

يبدو مما سبق أن المصدر المتحرك ربما يستطيع أن يغطي احتياجات ويحل مشكلة برنامج بحوث ولكن من الصعب تصور مصدر اشعاعي متحرك يستخدم على نطاق ومدى أوسع من عمليات التشعيع. سوف تنشأ منظمات لخدمات التشعيع لكي تقدم خدمات التشعيع لمعاملة الأغذية بالاشعاع. وستقوم هذه الخدمة إما على أساس سعر الساعة أو سعر الوحدة. حيث يزود جهاز التشعيع بالأغذية المغلفة في صناديق ثم تعاد مرة أخرى الشحنة التي تم تشعيعها من المنتجات الغذائية. انه من المهم أن يعرف أي نوع من التشغيل مطلوب لجهاز التشعيع. وهناك أربعة أنواع من هذه النماذج نذكرها فيما يلي:

(١) مصدر تشعيع كوبلت ٦٠ مصمم على أساس أن يكون جزءاً من مشروع

للمعاملة بالاشعاع أي بمعنى آخر يعتبر التشعيع هنا عملية متكاملة.

(٢) مصدر تشعيع كوبلت ٦٠ مصمم على أساس أن يكون وحدة تشعيع مستقلة، أي قائمة بذاتها تقدم تسهيلات التشعيع في مقابل أجر أو رسم معين أو عن طريق شراء الأغذية المراد تشعيعها، وذلك على نفقة المشروع وبعد أن يتم تشعيعها يعاد بيعها مرة أخرى.

(٣) مصدر تشعيع عبارة عن معجل الكتروني مصمم على أساس جزء من المشروع (عملية متكاملة).

(٤) مصدر تشعيع عبارة عن معجل الكتروني مصمم على أساس أن يكون وسيلة تشعيع قائمة بذاتها، تقدم تسهيلات التشعيع في مقابل أجر أو رسم معين أو يمكن أن يقوم المشروع بشراء المنتجات الغذائية على نفقته الخاصة ثم يتم التشعيع وبعد ذلك يعاد بيعها مرة أخرى.

ومن أجل تقييم تكاليف مشروع لتشعيع الأغذية، فان الدراسة يجب أن تتم مع أخذ العوامل السابق ذكرها في الاعتبار.

٤ ـ ٢ التطبيقات في مجال الصناعة:

تعتبر التطبيقات في مجال الصناعة أكثر أهمية وأكبر شأناً وخاصة تلك المتعلقة بتطبيقات الكيمياء الاشعاعية.

في الفترة من ١٩٥٠ حتى ١٩٧٠ حددت في الولايات المتحدة الأمريكية ما يقرب من ٧٠٠ براءة اختراع متعلق بمعاملات الاشعاع. والآن يتزايد هذا العدد بمعدل ١٢٠ براءة اختراع تقريباً كل سنة. وانه من الملائم أن نذكر هنا أن أكثر من حوالي ٧٠٪ من البراءات السابق ذكرها، تتصل بمجال كيمياء مركبات البوليمر polymer.

تكوين الروابط العبورية في مركبات البوليمر

: Cross-linking Polymers

وذلك بتعريض سلاسل من جزيئات مركب ما الى الاشعاع، فان السلاسل يمكن أن ترتبط مع بعضها البعض عند نقطة تقاطع او عبور عديدة intersections ، ومن ثم يؤدي ذلك الى درجة عظيمة من الصلابة في التوزيع الفراغي لسلاسل جزيئات تلك المركبات.

ان استخدام الاشعاع في احداث ظاهرة الروابط العبورية لمركبات معينة من البوليمر سوف يؤدي الى تحسن كبير لمركبات البوليمر من ناحية المقاومة للحرارة. هناك نتيجة أخرى في غاية الأهمية لظاهرة تكوين الروابط العبورية لمركبات البوليمر بواسطة الاشعاع وهي بناء ما يسمى بظاهرة «تأثير الذاكرة» memory effect في مركب البوليمر المشع. فلو سخن مركب البوليمر بعد التشعيع الى نقطة الليونة ويشد أو يمط المركب بوسائل ميكانيكية ثم يبرد مرة أخرى تحت ظروف الشد هذه، فعند التسخين التالي فان مركب البوليمر سوف يعود مرة أخرى الى الشكل الطبيعي الذي اتخذه أثناء عملية التشعيع. هذه الخواص التي اكتسبتها مركبات البوليمر خلال تعرضها للتشعيع تستخدم اليوم على نطاق واسع في مجال الصناعة وسيتضح ذلك من التطبيقات التالية:

(١) تطبيق ظاهرة الروابط العبورية في صناعة الكابلات العازلة:

من خلال الحكم على حجم المبيعات فان تطبيق ظاهرة الروابط العبورية بفعل الاشعاع في صناعات الأسلاك والكابلات العازلة المغطاة بمركبات البولي إثيلين ومركبات البولي فنيل تعتبر من أكبر التطبيقات الصناعية للمعاملة في كل من الولايات المتحدة الأمريكية وروسيا وبريطانيا والمانيا واليابان. ففي اليابان مثلا فان حوالي ٣٥ ألف كيلومتر من الكابلات المعزولة تعامل شهرياً

بالاشعاع خلال عام ١٩٧٤ ، وهذا مثل يوضح بجلاء المدى الذي وصل اليه تطبيقات الاشعاع في هذا المجال .

(٢) الانكماش الحراري لمركبات البولي إثيلين سواء كانت على شكل أنابيب أو غطاء رقيق :

بالرغم من أن بعض الاشكال ذات الانكماش الحراري التي تصنع من البولي إيثلين على هيئة غلاف رقيق أو أنابيب أو شرائط يمكن تصنيفها بواسطة وسائل ميكانيكية فان تلك المنتجات فقط اذا ما عوملت بالاشعاع سوف تكون لها مقدرة انكماشية تتراوح ما بين ١٠ ـ ٥٠٪ في كلا الاتجاهين . وهذه الخاصية تكتسب نتيجة لظاهرة ما يسمى بـ « تأثير الذاكرة » التي سبق ذكرها . فاذا ما لف هذا الغلاف الرقيق بأحكام حول سلعة ما أو سلك كهربي ثم سخن بعد ذلك، فان طبقة أي غلاف السلوفان سوف ينكمش ومن ثم يصبح الغلاف مشدوداً بأحكام حول السلعة المراد تغليفها . وأغلفة مركبات البولي ايثيلين السابق ذكرها تستخدم على نطاق واسع في عمليات التغليف وتغطية الكابلات وكذلك في عمليات العزل الكامل للأجهزة والأدوات الكهربائية . وبنفس المعاملة تستخدم أنابيب البولي ايثيلين ذات الأقطار الأوسع لكي تغلف بأحكام الأنابيب الاسمنتية في منطقة الفواصل فيما بينها لكي يمنع التسرب منها .

(٣) استخدام الإشعاع في انتاج مركبات البولي إثيلين الاسفنجية :

استخدمت أيضاً ظاهرة الروابط العبورية بفعل الاشعاع في تصنيع مركبات البولي ايثيلين الاسفنجية الشكل ذات الخلايا المغلقة .

وتكون روابط عبورية بين مركبات البولي ايثيلين والمواد التي تنثر عليها كطبقة رقيقة وذلك بتأثير الاشعاع ، ومن ثم سيكتسب مركب البوليمر صفة مقاومة للحرارة . وعند التسخين التالي للطبقة الرقيقة المشععة ينطلق غاز

مسبباً تكون رغاوي أو فقاقيع تؤدي الى زيادة الحجم بما يوازي ٤٠ مرة. والمركب المشعع الناتج يتميز بعدة صفات منها: نعومة السطح والفجوات المغلقة المتماثلة والمرونة الفائقة. يستخدم المركب الناتج على نطاق واسع في كل من الولايات المتحدة واليابان كمادة حشو وتبطين في عملية التنجيد الداخلي للسيارات، وكذلك كمادة مبطنة لنوع من القماش الخشن المستخدم في صناعة الخوزات، وفي صناعة ممسحة الأرجل والتي توضع في أرضية الحجرات أو الطرقات، في صناعة سدادات فوهات الزجاجات، وفي استخدامات أخرى عديدة مماثلة خاصة بمركبات البوليمر الاسفنجية.

(٤) ظاهرة تقسية المطاط:

يمكن استخدام الاشعاع في تقسية المطاط الطبيعي عن طريق تعريضه إلى الاشعاع ثم في وجود تجهيزات معينة وتشكيله في قوالب معينة عن طريق تبخير مصل المطاط serum على درجة حرارة ٧٠ م. وسوف تؤدي الروابط العبورية المتكونة في المركب المشع الى اكسابه صفة المتانة والصلابة بدرجة تفوق بكثير مركبات المطاط الغير معاملة بالاشعاع. وتستخدم حالياً تلك الظاهرة على نطاق واسع في فرنسا في صناعة قفازات الجراحة والتي تتطلب صناعتها أن تكون من طبقة رقيقة ولكنها قوية ومتينة جداً في نفس الوقت.

تكوين مركبات البوليمر بواسطة الاشعاع:

ان استخدام الاشعاع في احداث ظاهرة البلمرة polymerization لمركبات الفينيل قد فتح آفاقاً أخرى جديدة لعمليات التشعيع، وهي مجالات تنمو بسرعة.

ومن خلال هذه العملية فان البلمرة بفعل الاشعاع كما نعرفها هو الربط الكيميائي لجزيئات صغيرة لكي تكون جزيئات أكبر أو ما يسمى بالبوليمر. وتمتاز عملية البلمرة بفعل الاشعاع بميزة خاصة وهو انه يسهل التحكم في عملية

البلمرة بصورة أفضل حيث أن مصدر الاشعاع المستخدم يوجد خارج وسط التفاعل ومن ثم لا يتأثر بعملية التفاعل ذاتها . وعلى ذلك فالمتوقع بهذه الطريقة أن تصبح مركبات البلاستيك الناتجة على درجة عالية من النقاوة . وسيقتصر الحديث هنا على بعض الأمثلة الخاصة بتلك المعاملات :

(١) البلمرة بفعل الاشعاع :

تقابل عملية تصديع التفلون Teflon كيميائياً باعتراضات أهمها التعقيد ، كما انها عرضة لمخاطر كبيرة مثل الانفجار ، وذلك يرجع الى أن المركب الكيميائي الأولي يجب أن يسخن لكي يبدأ التفاعل في الحدوث ، وعند درجة الحرارة اللازمة لحدوث التفاعل فانه يبدأ بعنف وبشدة ومن ثم نتوقع مخاطر حدوث الانفجار . وفي هذا المجال فان الاشعاع يستطيع أن يلعب دوراً مفيداً للغاية ، حيث يبرد المركب الأحادي monomer الى درجة حرارة - ٤٠°م وعند درجة الحرارة هذه فان الحالة الغازية للمركب تصبح سائلة يسهل بواسطة المعاملة بالاشعاع أن تتحول بسهولة الى بوليمر ومن ثم يمكن تجنب خطر حدوث الانفجار .وان الامكانية التي يتيحها الاشعاع هنا تنبع من الحقيقة من أن عملية التشعيع بواسطة مصدر نظائري مشع لا تعتمد على درجة الحرارة وانه حتى في ظل درجات الحرارة المنخفضة هذه يمكن تكون المجموعات الكيميائية الفعالة .

(٢) معاملة مواد الطلاء بالاشعاع :

يستحوذ استخدام المعجلات والأشعة فوق البنفسجية اليوم في صناعة الطلاء لمعالجة الأسطح الكلية ـ على اهتمام واسع وأصبحت تكون فرعاً هاماً من تكنولوجيا الاشعاع الذي يحرز نمواً سريعاً . فعن طريق استخدام مركب الطلاء المناسب لم يعد هناك حاجة لاستخدام المذيبات ، فبوسع المعجل أن يعامل مادة الطلاء هذه بالاشعاع في فترة زمنية تمثل جزءاً من الثانية ، وبهذه الطريقة

تتعرض مادة الطلاء فقط الى الطاقة المشعة بالمقارنة بمعاملات التسخين العادي حيث تتعرض كل المادة للتسخين من أجل معالجة الطلاء . ولقد أدت معاملة مواد الطلاء سواء بكل من الأشعة فوق البنفسجية أو باستخدام المعجل الى تحقيق توفير كبير في احتياجات الطاقة .

(٣) توليفات مكونة من الخشب والبوليمر Wood Polymer Composites :

يعتبر تكوين توليفات من الخشب والبوليمر ـ بواسطة الاشعاع من أهم تطبيقات الطاقة النووية اثارة للإعجاب .

اذ يمكن الحصول على توليفة الخشب ـ بوليمر عن طريق نقع أو تشريب الخشب بمحلول مركب احادي monomer لمادة بلاستيكية معينة . وعند المعاملة بالاشعاع يتحول سائل المونيمر الى مادة صلبة تسد الفراغات والفجوات للخشب المعالج . ومن ثم تكون المادة المتحصل عليها ذات مظهر خارجي من الخشب ولكن تركيبها النباتي الدقيق مملوء بالبلاستيك . وسوف يكسب وجود مادة البلاستيك داخل الخشب الصفات المتفوقة للبلاستيك بدون فقد أو خسارة في الصفات الجمالية والفنية للخشب . وبهذه الطريقة فانه يمكن تحسين صفات الأصناف الرخوة والرخيصة من الخشب الى الحد الذي يمكن مقارنتها بايجابية مع تلك الأصناف التي تمتاز بالصلابة والقوة من الأنواع الغالية الثمن .

ومن الصعب تقرير حجم ونوع المصدر الاشعاعي المستخدم في التطبيقات الصناعية ومرجع ذلك الى أن المبنى المخصص للمصدر يجب أن يتكامل في نفس الوقت مع وسائل الانتاج الأخرى الخاصة بالمشروع .

٤ ـ ٣ التعقيم الاشعاعي Radiosterilization :

إن الحاجة المتزايدة اليوم للتعقيم تظهر بوضوح في الصناعات الطبية

والصيدلية وكما هو واضح في الاحتياطات الواجب اتخاذها لمنع التلوث أثناء عمليات زرع الأعضاء وبعض عمليات جراحة العظام تتطلب أن تخضع الأدوات الواجب تعقيمها الى اجراءات مراقبة مشددة. وتصطدم هذه المراقبة بعقبة الاستخدام المتزايد لمنتجات معقمة ذات طبيعة تركيب غير جيدة،ومن هنا نشأ التأكيد المتزايد على صنع أدوات تستخدم لمرة واحدة فقط ثم يتم التخلص منها. وباستخدام مثل هذه الأدوات يمكن استبعاد عمليات اعادة التعقيم وكذلك يتم إبعاد أخطار التلوث العبوري cross-contamination ، وحسب البيانات المتحصل عليها من المانيا فان استخدام الأدوات أحادية الاستعمال يوفر ما يقرب من ٥٠ ساعة عمل لكل سرير مستشفى في كل عام، وهذه نسبة وفر عظيمة اذا ما أخذ في الاعتبار التكاليف العالية لاقامة مريض في مستشفى.

والسؤال الذي يطرح نفسه في الحال: ما هو السبب الذي يجعل التعقيم الاشعاعي يكتسب كل تلك الأهمية يتضح ذلك اذا ما أجرينا مقارنة بين التعقيم بالاشعاع وطرق التعقيم الأخرى، فان التعقيم بالاشعاع يتوفق من ناحية الضمان واليسر. وبالرغم من أن كل الاحياء الدقيقة ليست حساسة بدرجة متساوية للاشعاع فان الأبحاث المكثفة أوضحت لنا أن جرعة اشعاعية مقدارها ٢٫٥ مليون راد تكفي لقتل جميع الكائنات الدقيقة التي تسبب الأمراض، وهكذا فانه من المقبول على مستوى عالمي أن أية اداة أو آلة طبية تتعرض لجرعة اشعاعية قدرها ٢٫٥ مليون راد تصبح معقمة بعد التشعيع وكما سبق وذكرنا انه بالمقارنة بطرق التعقيم الأخرى فان التعقيم بالاشعاع يتميز بالسهولة واليسر والضمان. وأحد أهم مزايا هذه الطريقة للتعقيم تكمن في أن المادة المراد تعقيمها يمكن أن تغلف تغليفاً نهائياً قبل اجراء عملية التعقيم حيث أن طاقة الاشعاع عالية للدرجة التي تمكنها من اختراق الأغلفة بسهولة،ومن ثم يتم تعقيم المواد داخل أغلفتها وهذه الميزة ينشأ عنها تبسيط كبير في عمليات تصنيع مثل

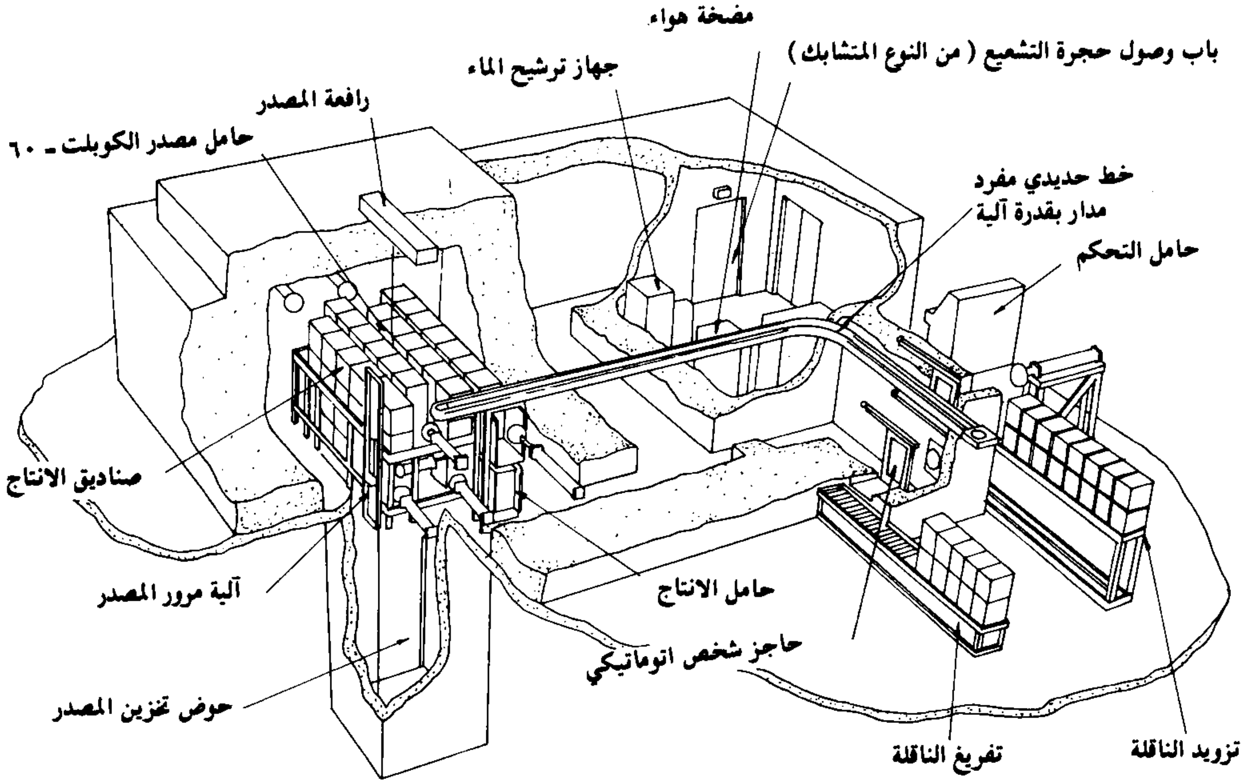
هذه الأدوات حيث يمكن أن يتم التصنيع للأدوات المستخدمة تحت ظروف غير معقمة ثم يتم تغليفها نهائياً ،ويلي ذلك الخطوة الأخيرة وهي اجراء عملية التعقيم .

ومن مميزات طريقة التعقيم بالاشعاع أيضاً انها تمكن من استخدام نوعيات كثيرة ومختلفة من المواد في تصنيع الأدوات الطبية أحادية الاستعمال . وفي معظم الحالات يؤدي ذلك الى قدر من التوفير لابأس به في تكلفة تصنيع مثل هذه الأدوات . وفي بعض الأحيان يمكن تصنيع الأدوات من مواد لا يمكن تعقيمها بأية طريقة أخرى غير طريقة التعقيم بالاشعاع . وفي السنوات القليلة الماضية ادخلت تحسينات عظيمة على المواد المختلفة والتي يصنع منها اليوم الأدوات الطبية أحادية الاستعمال بحيث لا يحدث لها أي تغير لوني نتيجة التغيير في نظام تزاحم الذرات أثناء عملية الاشعاع وهو ما كان يحدث من قبل ، والنتيجة انه من النادر اليوم أن نجد مادة غير قابلة للتعقيم بالاشعاع . وتبعاً لذلك ، فانه توجد قائمة كبيرة للأدوات التي تعقم بالاشعاع ومن بينها على سبيل الذكر لا الحصر الخيوط الجراحية وقفازات الفحص والجراحة ، والمسحات الطبية والأربطة ، والأدوات الجراحية الورقية والبلاستيكية وأنابيب البلاستيك وأجزاء من الكلية الصناعية والقلب الصناعي والأطراف الصناعية وصمامات القلب .

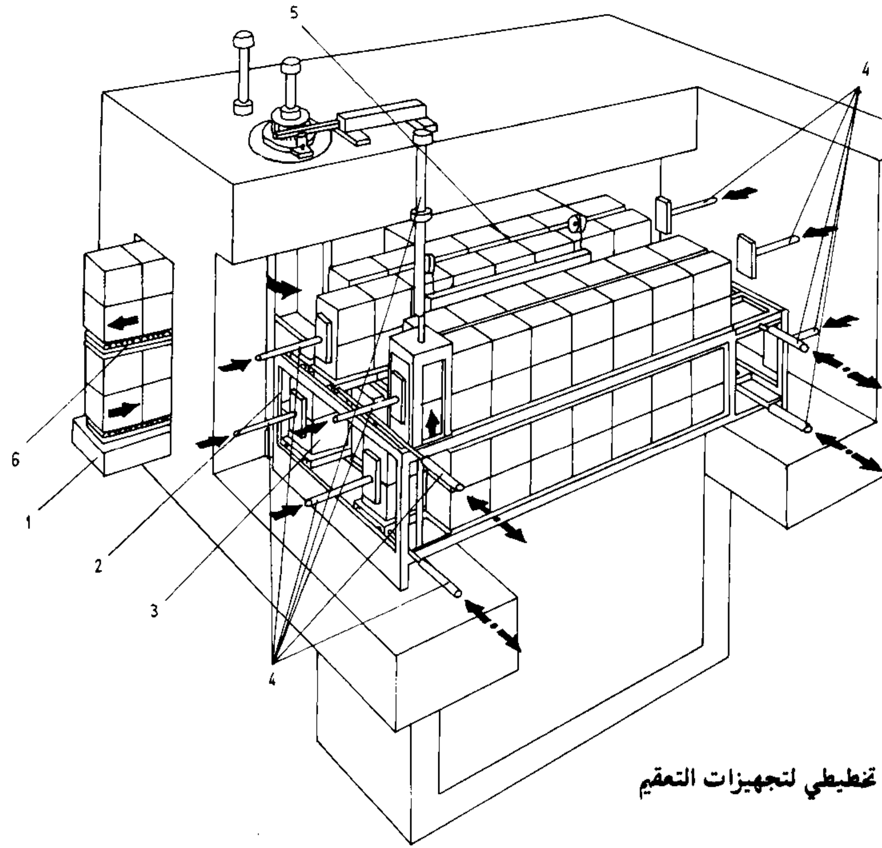
وليست فقط الأدوات الطبية أحادية الاستعمال هي التي يمكن تعقيمها بالاشعاع ، ولكن هناك الآن الكثير من الدراسات والبحوث المتزايدة عن استخدامات التعقيم بالاشعاع والتي امتدت لتشمل العقاقير الدوائية مثل المضادات الحيوية ، والمنتجات الدوائية الجافة ، وبعض المستحضرات الجالينية الخاصة كالصابون والمراهم العطرية .

ومرة أخرى فانه من الصعب تحديد حجم المصدر الاشعاعي الذي يلزم لهذا الغرض ، ويوضح الشكل (رقم ٤٧) جهاز كوبلت ـ ٦٠ قوة نشاطها الاشعاعي ٣٥٠٫٠٠٠ كوري تم بناؤه في مدينة بلندايا بجنوب أفريقيا كما يظهر الشكل

(رقم ٤٨) مصدر اشعاعي كوبلت ٦٠ (جامير I) ذات قوة نشاط اشعاعي كلي قدرها ١٫٥٠٠٫٠٠٠ كوري تم بناؤه بواسطة I.R.E بفلورس ، والطاقة الحالية لهذا الجهاز هو ٢٥٠٫٠٠٠ كوري وبنهاية عام ١٩٧٩ ستزداد طاقة التشعيع الى ٢٥٠٫٠٠٠ كوري. وترتبط زيادة قدرة محطة جامير للتشعيع بالزيادة على طلب التشعيع ، وبسبب الصفة (العقارية الدوائية) لهذا النشاط فاز ضمان الجودة يرتكز على احترام الشروط الصارمة فيما يتعلق بعمليات التصنيع الجيدة ومراقبة الجودة مبتدئين بقياس مسبق للتلوث البكتريولوجي للمركب المنتج قبل التشعيع ، وهذا النشاط يستبعد أية تطبيقات أو استخدامات اشعاعية أخرى للمحافظة على نظافة وأمان المخازن والناقلات المخصصة لهذا الغرض بالذات وهو التعقيم الاشعاعي.



(شكل ٤٧) شكل تخطيطي لمحطة تشعيع كوبلت ـ ٦٠ قوة ٣٥٠ كيلوكوري مقامة في بلندابا من انتاج الطاقة الذرية الكندية المتحدة .



(شكل ٤٨) رسم تخطيطي لتجهيزات التعقيم

الباب الخامس

التخطيط والاعداد وأوجه الصرف المالية

Planning and Financial Aspects

٥ ـ ١ أوجه النفقات المالية :

انه من الصعب أن نقدر التكاليف المالية لأي مشروع جديد حيث أن بعض المباني التي تلزم المشروع تكون قائمة فعلاً ومجهزة جزئياً . وأكثر من ذلك فان الأسعار وتغيراتها المستمرة تختلف من بلد الى آخر حتى بالنسبة لنفس الجهاز . ومن ثم فان تقديرات عامة سوف تقترح بالنسبة للانشاءات والأنشطة الجديدة التي تلزم المشروع مقدرة بالدولار الأمريكي .

٥ ـ ١ ـ ١ انتاج النظائر المشعة :

المصروفات الاستثمارية : (باستثناء الخلايا أو المعامل الحارة) Hot cells

البند	القيمة بالدولار
١ ـ أجهزة ومستلزمات كيمياوية	٥٠ر٠٠٠
٢ ـ أجهزة ومستلزمات انتاج	٢٥٠ر٠٠٠
٣ ـ أجهزة ومستلزمات قياس المواد المنتجة	١٠٠ر٠٠٠
المجموع	٤٠٠ر٠٠٠

التكاليف السنوية للتشغيل :

عدد	البند	القيمة
١ ـ ٢٥	في ومستخدم	١ر٠٠٠ر٠٠٠
٢ ـ عدد ٥	رؤساء عمل	

٣ ـ مواد انتاج	٢٠٠٫٠٠٠
٤ ـ صيانة	١٠٠٫٠٠٠
٥ ـ طاقة وخدمات	١٠٠٫٠٠٠
المجموع	١٫٤٠٠٫٠٠ دولار في السنة

٥ ـ ١ ـ ٢ معمل انتاج مجموعة النظائر الباردة cold kits (تكنيسيوم مشع ^{99m}):

المصروفات الاستثمارية :

البند	القيمة
١ ـ أجهزة ومستلزمات كيماوية	٥٠٫٠٠٠
٢ ـ أجهزة ومستلزمات دوائية	١٥٠٫٠٠٠
المجموع	٢٠٠٫٠٠٠

التكاليف السنوية للتشغيل :

البند	القيمة
١ ـ عدد ٣ فني ومستخدم	١٥٠٫٠٠٠
٢ ـ عدد ١ رئيس عمل	
٣ ـ مواد انتاج	٣٠٫٠٠٠
٤ ـ صيانة	٢٠٫٠٠٠
٥ـ خدمات	٢٠٫٠٠٠
المجموع	٢٢٠٫٠٠٠

٥ - ١ - ٣ التحكم النوعي (مراقبة مواصفات الانتاج):

المصروفات الاستثمارية:

البند	القيمة
١ - أجهزة ومستلزمات القياس	٢٥٠ر٠٠٠
٢ - أجهزة علمية للتحاليل	١٠٠ر٠٠٠
المجموع	٣٥٠ر٠٠٠

التكاليف السنوية للتشغيل:

البند	القيمة
١ - عدد ٥ فني ومستخدم	٢٠٠ر٠٠٠
٢ - عدد ١ رئيس عمل	
٣ - مواد وكواشف كيماوية	٥٠ر٠٠٠
٤ - صيانة	٣٠ر٠٠٠
٥ - خدمات	٢٠ر٠٠٠
المجموع	٣٠٠ر٠٠٠

٥ - ١ - ٤ المعجل الدوّار: (السيكلوترون) Cyclotron :

البند

سيكلوترون طبي — سيكلوترون انتاجي

(٢٤ مليون الكترون فولت بروتون) (٧٥ مليون الكترون فولت بروتون)

المصروفات الاستثمارية:

البند	سيكلوترون طبي	سيكلوترون انتاجي
١ - مباني	٢ر٠٠٠ر٠٠٠	١٠ر٠٠٠ر٠٠٠
٢ - أجهزة ومعدات	١ر٠٠٠ر٠٠٠	٦ر٠٠٠ر٠٠٠

٣ ـ السيكلوترون	٣٫٠٠٠٫٠٠٠	٩٫٠٠٠٫٠٠٠
المجموع	٦٫٠٠٠٫٠٠٠	٢٥٫٠٠٠٫٠٠٠

تحليل عناصر تكاليف التشغيل :

البند	القيمة	
١ ـ أجور فنيين ومستخدمين	٢٠٠٫٠٠٠	٦٠٠٫٠٠٠
٢ ـ مواد وكواشف كيماوية	١٠٠٫٠٠٠	٣٠٠٫٠٠٠
٣ ـ صيانة	١٠٠٫٠٠٠	٢٠٠٫٠٠٠
	٤٠٠٫٠٠٠	١٫١٠٠٫٠٠٠

٥ ـ ١ ـ ٥ معمل تقدير واختبار المناعة الاشعاعية :

المصروفات الاستثمارية :

١ ـ مباني (٢٠٠٠ م٢ من المباني)	٤٠٠٫٠٠٠
٢ ـ تجهيزات ومعدات كيميائية	١٠٠٫٠٠٠
٣ ـ تجهيزات ومستلزمات مواد دوائية	٣٠٠٫٠٠٠
٤ ـ أجهزة ومعدات علمية للقياس	١٥٠٫٠٠٠
المجموع	٩٥٠٫٠٠٠ دولار

التكاليف السنوية للتشغيل :

١ ـ عدد ١٥ فني ومستخدم	٦٠٠٫٠٠٠
٢ ـ عدد ٣ رؤساء عمل	
٣ ـ مواد وكواشف كيماوية	٣٠٠٫٠٠٠
٤ ـ صيانة	١٠٠٫٠٠٠
٥ ـ خدمات	٥٠٫٠٠٠
المجموع	١٫٠٥٠٫٠٠٠

٥ - ١ - ٦ محطة تشعيع جاما:

المصروفات الاستثمارية:

١ - المباني (مخازن)	٢ر٥٠٠ر٠٠٠
٢ - جهاز التشعيع	٣ر٠٠٠ر٠٠٠
٣ - مصدر الكوبلت المشع - ٦٠ (٠٠٠ر٥٠٠ كوري)	٨٠٠ر٠٠٠
٤ - أجهزة انذار ومراقبة اشعاعية	٢٠٠ر٠٠٠
٥ - تجهيزات ومعدات ميكانيكية	١٠٠ر٠٠٠
٦ - تجهيزات ومعدات معملية	١٥٠ر٠٠٠
المجموع	٦ر٧٥٠ر٠٠٠

التكاليف السنوية للتشغيل:

١ - عدد ٣٠ فني ومستخدم	١ر٢٠٠ر٠٠٠
٢ - عدد ٦ رئيس عمل	
٣ - مواد وكواشف كيماوية	١ر١٥٠ر٠٠٠
٤ - صيانة	١٠٠ر٠٠٠
٥ - خدمات	١٥٠ر٠٠٠
المجموع	١ر٦٠٠ر٠٠٠

مثال للأسعار:

١ - مجفف التبريد (سعة ٣٠٠٠ عبوة) (سعة ٠٠٠ر٣٠ عبوة)	٥٠ر٠٠٠
٢ - جهاز أوتوماتيكي لتركيب الأدوية وتوزيعها ومصها وترقيم الأدوية وعمل الكبسولات	١٥٠ر٠٠٠
٣ - خلية من الرصاص (سمك ١٥ سم) (موضحة بالرسم)	٦٠٠ر٠٠٠ للخلية

٤ ـ جهاز التشغيل اليدوي أو الميكانيك (شكل ٤٩)	١٣ر٠٠٠ للقطعة
٥ ـ نافذة للرؤية ذات حواجز واقية مستطيلة الشكل (سمك ١٥٠ ملليمتر) (شكل ٥٠)	١٥ر٠٠٠ للقطعة

٥ ـ ٢ التخطيط والاعداد

(التقديرات موضوعة في حالة توفر الكوادر البشرية الفنية وتم شراء التجهيزات).

٥ ـ ٢ ـ ١ انتاج النظائر المشعة:

تجهيزات	١٨ شهراً
فحص واختبارات التشغيل	٦ أشهر
المجموع	٢ سنة

٥ ـ ٢ ـ ٢ ـ معمل مجموعة مركبات الانتاج البارد cold kits

تجهيزات	٦ أشهر
R + D	٦ أشهر
فحص واختبارات التشغيل	٦ أشهر
المجموع	١٨ شهراً

٥ ـ ٢ ـ ٣ المراقبة النوعية (مراقبة مواصفات الانتاج):

تجهيزات	٦ أشهر
اختبارات وفحوصات	٦ أشهر
المجموع	١ سنة

ان أجهزة التشغيل اليدوية من نوع HWM تكون مناسبة بصفة خاصة للتركيب في الخلايا أو الصناديق الصغيرة ويمكن تقسيمها الى الآتي : ـ

١ ـ نوع A200 خاصة بتجهيزات يتراوح ارتفاعها من ١٦٠٠ ملليمتر حتى ٢٠٠٠ ملليمتر .

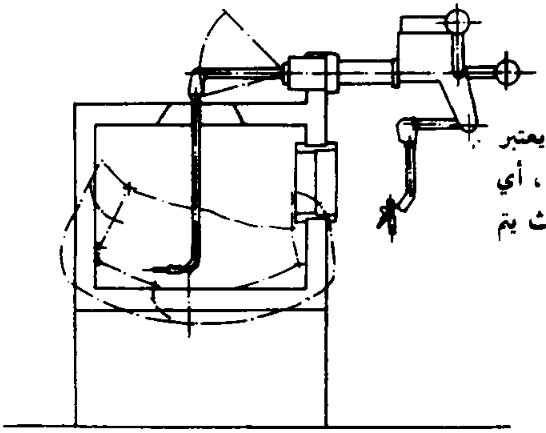
٢ ـ نوع A201 خاصة بتجهيزات يتراوح ارتفاعها من ١٨٥٠ ملليمتر حتى ٢٢٥٠ ملليمتر .

٣ ـ نوع A202 عبارة عن غاز مضغوط في أنبوب موجود خلال الجدار أو خلال الصندوق وبمعنى آخر له علاقة بالنوع A201 .

ويجب ملاحظة أن معدات التشغيل اليدوي المذكورة سابقاً لها مجالات متنوعة من التطبيقات كنتيجة للخصائص الآتية : ـ

نسبة النقل ما بين الحركة الجانبية للمعالجة اليدوية وما بين الحركة الجانبية للفك تحدد حسب الاحتياج (حيث يرتبط ذلك تبعاً لفراغ التشغيل المرغوب فيه في الجانب الساخن) ، فمثلا النسبة بين KO الى HO أو KU الى HU يمكن اختيارها ١ : ١٫٦ ، ١ : ٢ ، ١ : ٢٫٥ أو حتى أكثر من ذلك . وكنتيجة لذلك فان النقلات الكبيرة للملقاط يمكن انجازها في الخلية أو في الصندوق من خلال تعديل مجال التشغيل أو العمل في حدود الحركة البدنية . ومن خلال الضبط الميكانيكي الخاص بالساعد فانه يمكن التحصل على مجال للتشغيل أفضل . وهذا يجعل عملية الضبط الكهربائي الاضافي غير ضرورية . وبالاستعانة بنسبة نقل ١ : ٢ فان الاوزان حتى ٢٠ كيلوجرام يمكن رفعها . وبالنسبة للاوزان حتى ٨ كيلوجرام فانه يمكن التعامل اليدوي معها في كل الاوضاع بين الفكين . وفيما يتعلق بنسبة النقل ١ : ١ فان الحركات الدورانية والمحورية للملاقيط يمكن أن تتم . والاذرع اليدوية الصغيرة من النوع (A200, A201, A202) يمكن حمايتها بواسطة أحذية خاصة بها .

أجزاء عديدة وبصفة خاصة المقابص والملاقط والفكوك والعدد والادوات . وكذا أدوات التغيير والتعديل لها نفس التصميم المذكور في المشغلات (الاذرع) اليدوية من النوع (A100) حتى يمكن استخدامها عند الاستعانة بكلي النوعين من المشغلات اليدوية ، كما أن انتاج قطاع الغيار الخاص بها أصبح ميسوراً جداً .

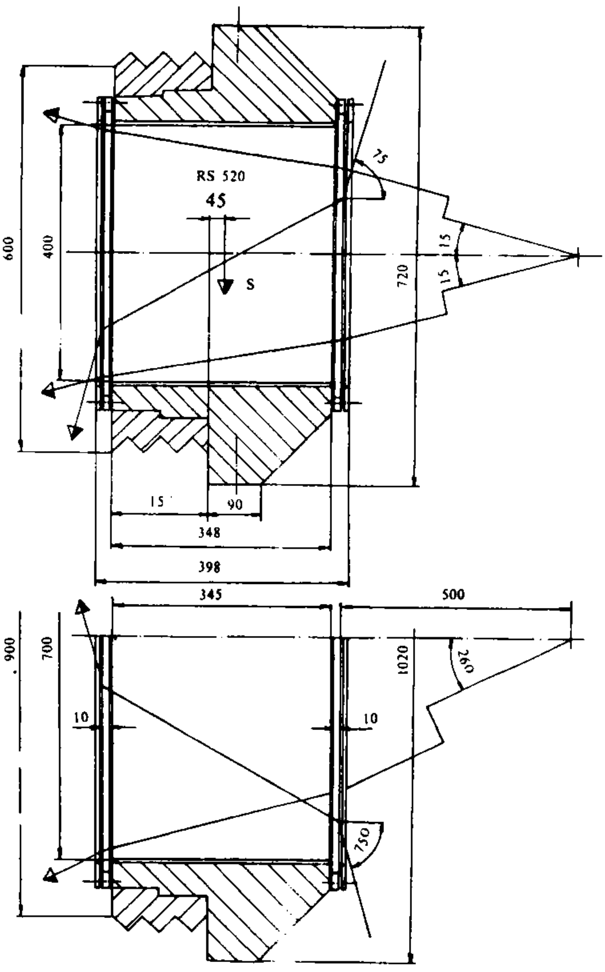


المشغل اليدوي من نوع (A201) يعتبر مناسباً بصفة خاصة للتركيبات من أعلا ، أي من خلال قمة الخلايا أو الصناديق حيث يتم وصول المشغلات اليدوية من أعلا .

(شكل ٤٩) .

٨ . نافذة عمودية (مستطيلة الشكل) :

بسمك جدار ١٥٠ ملليلمتر وتدخل النافذة بيسر كامل في الجدار المبطن ويمكن تركيبها في جدار قائم ومجهز فعلا .



وتكون ألواح الزجاج الواقي في هذه الحالة بسمك ١٠ ملليمتر . ونثبت تلك الألواح في النافذة بواسطة براويز خاصة . وتمتاز هذه الالواح الواقية المنفصلة بسهولة استبدالها .

تصميم نافذة ذات جدار سمك ١٥٠ ملليمتر وحجم زجاج ٤٠٠ X ٧٠٠ وألواح من الزجاج الواقي على الجوانب الساخنة والباردة .

نافذة مزودة بحواجز واقية من الاشعاع أبعاد ١٥٠ ـ ٤٠٠ X ٧٠٠

شكل (٥٠)

٥ ـ ٢ ـ ٤ المعجل الدوّار: (السيكلوترون)

المباني	٢ سنة
آلات ومعدات ميكانيكية	١ سنة
تجارب واختبارات	١ سنة
المجموع	٤ سنة

٥ ـ ٢ ـ ٥ معمل اختبارات وتقديرات الحصانة (المناعة) الاشعاعية:

المباني	١ سنة
التجهيزات	٦ أشهر
الاختبارات والفحوصات	٦ أشهر
المجموع	٢ سنة

٥ ـ ٢ ـ ٦ محطة تشعيع جاما:

المباني	١ سنة
آلات ومعدات ميكانيكية	١ سنة
تجارب واختبارات	١ سنة
المجموع	٣ سنة

يجب أن يكون هناك تكامل بين كل من برنامج التخطيط والاعداد وبرنامج التمويل لكي يبدأ تنفيذ المشروعات خطوة بخطوة. ويعتبر تأخير المشروعات حقيقة واقعة بسبب مشاكل التمويل وكذلك بسبب عدم الدقة والوضح في تحديد وترجمة الأنشطة المقترح تنفيذها في صورة أموال وأيدي عاملة وتجهيزات عند البدء في تنفيذ المشروع. واذا لم توجد تلك المشاكل فانه يلزم فترة زمنية على الأقل قدرها ٦ شهور من أجل الدراسة الأولية وعمل

التنقيح اللازم للتفصيلات والرسومات الخاصة بالمشروع اللازم. وفي حالة المعجل الدوّار ومحطات التشعيع الجامية فان فترة زمنية قدرها سنة تعتبر كافية في حالة توفر الكوادر البشرية الفنية اللازمة.

